TECNICA MODERNA DELLA REGISTRAZIONE E DELLA RIPRODUZIONE DEL SUONO

BIBLIOTECA TECNICA PHILIPS

SERIE DIVULGATIVA

HI-FI

DAL MICROFONO ALL'ORECCHIO

Tecnica moderna della registrazione e della riproduzione del suono

C. D. U. 681.84.083 : 534.85

G. SLOT

1956

BIBLIOTECA TECNICA PHILIPS

HI-FI

DAL MICROFONO ALL'ORECCHIO

Prefazione

Alta fedeltà dal microfono all'orecchio vuol essere una risposta ampia e particolareggiata alle moltissime lettere che giungono alla Philips da tutto il mondo per chiedere informazioni e pareri sui problemi relativi alla riproduzione grammofonica.

Milioni di pick-up e di registratori magnetici sono oggi in funzione e il loro numero non cessa di aumentare continuamente. Molti amatori di musica, la cui preoccupazione costante è di migliorare la qualità del complesso che posseggono, sarebbero lieti di essere guidati e consigliati nei loro acquisti. Inoltre in tutti i paesi del mondo si sta manifestando un notevole interesse nell'approfondire le conoscenze tecniche sulla registrazione e sulla riproduzione del suono.

In queste condizioni ho voluto non solo rispondere a tutte le domande rivoltemi, ma dare al lettore, anche se profano, una visione completa della tecnica della registrazione e della riproduzione sonora.

Come è detto nel titolo, questo libro illustra tutta la catena dal microfono all'altoparlante soffermandosi su quegli elementi che, tanto dal punto di vista della registrazione quanto da quello della riproduzione, influiscono sulla qualità finale o presentano una certa importanza nell'acquisto di un complesso.

Gli argomenti trattati nel presente volume riguardano l'industria della registrazione e del disco, le principali caratteristiche e l'impiego dei pick-up, dei giradischi e dei cambiadischi, dei registratori magnetici, degli amplificatori e degli altoparlanti. La buona conservazione delle puntine e dei dischi è oggetto di un capitolo a sè. In altre parti del libro sono esposti metodi semplici e poco onerosi per controllare e valorizzare le qualità del complesso.

Colgo l'occasione per esprimere i più vivi ringraziamenti ai colleghi per le intelligenti osservazioni e critiche sul manoscritto nonchè al traduttore Sig. A. Clément, il cui compito è stato alleviato dall'aiuto prezioso datogli dal Sig. H. Piraux che si è incaricato della revisione.

G. SLOT

Tavola delle materie

CAPITOLO I

DAL FOGLIO DI STAGNOLA AL MICROSOLCO

§.1. Il periodo acustico

L'organetto di Barberia, la **boîte à musique** e la pianola, che hanno avuto la loro parte nella storia della musica registrata, potevano solo emettere suoni prodotti dal loro meccanismo. Il grammofono e il registratore a nastro invece, apparecchi privi di voce propria ma in possesso di una memoria molto più perfetta, possono farci ascoltare tutti gli strumenti musicali, fissando e riproducendo fedelmente non solo la nota e il ritmo ma ogni combinazione di suoni di qualunque specie. Nessuna meraviglia quindi che questi nuovi apparecchi abbiano soppiantato completamente le vecchie macchine musicali. Dopo 75 anni di progresso e di miglioramenti talvolta rivoluzionari, è stato raggiunto un tale grado di perfezione che l'ascoltatore può oggi riconoscere dalla riproduzione l'identità di un cantante o il fabbricante di un violino.

Naturalmente i primi apparecchi erano ben lontani dalla perfezione odierna. In Francia Charles Cros presentò nel 1877 un apparecchio che riproduceva già la voce umana. Fu però Edison che nello stesso anno realizzò un apparecchio praticamente utilizzabile. Nella sua forma primitiva, il **Fonografo** era costituito da un cilindro ricoperto da un foglio di stagnola; le vibrazioni sonore venivano incise su questo foglio e il cilindro veniva fatto girare a mano. La velocità irregolare di questo sistema di rotazione comprometteva maggiormente la riproduzione già molto mediocre del **Fonografo** del 1877 il quale, in realtà, non fu un gran successo.

Mentre Edison era probabilmente troppo occupato intorno alla sua lampada a incandescenza per interessarsi molto al **Fonografo,** Bell e Sumner Tainter continuarono a lavorare su quest'ultimo, sostituendo il foglio di stagnola con un rullo di cera. Questo fu un perfezionamento considerevole che permise al **Fonografo** e al **Grafofono,** come Bell e Tainter chiamarono il loro apparecchio, di gettare le basi del commercio della **musica in scatola.** Naturalmente la qualità della riproduzione era ancora ben lontana da quella attuale; il livello del rumore era ele-

Fig. 1. Il primo modello del grammofono di Berliner.

Fig. 2. Il fonografo di Edison.

vato, la dinamica e la gamma di frequenze molto limitate e il suono aspro. All'inizio si potevano registrare due minuti di musica, poi quattro. Non esistevano metodi per riportare le registrazioni su altri rulli e moltiplicarle. Inoltre l'apparecchio registratore era così poco sensibile che l'interprete doveva quasi introdurre la testa nella tromba. Quanto alla potenza sonora in riproduzione, essa non era sufficiente nemmeno per una normale stanza d'abitazione. Un inconveniente più grave era costituito dal fatto che per la riproduzione veniva impiegata la stessa cera su cui era stata effettuata la registrazione, il che ne determinava un'usura assai rapida.

Quando nel 1888 Berliner presentò il suo **Grammofono** molte difficoltà risultarono superate perchè in questo apparecchio la traccia sonora incisa su cera veniva riportata su zinco e quindi per la riproduzione veniva utilizzato un materiale più resistente. Berliner impiegava delle piastre piane circolari, della stessa forma cioè dei dischi di oggi; inoltre il riproduttore del suono veniva spostato sul disco dal solco e non da una vite senza fine come nel **Fonografo.** Il fruscìo della puntina dei primi **Grammofoni** era però ancora molto marcato. Berliner continuò la sua opera e tre anni dopo sviluppò un metodo di moltiplicazione delle registrazioni che viene seguito ancor oggi nelle sue linee essenziali.

Una delle maggiori difficoltà fu di trovare un materiale adatto per lo stampaggio dei dischi. Il **Durenoid,** miscuglio a base di gomma lacca che veniva impiegato nella fabbricazione dei bottoni, si dimostrò il più adatto allo scopo. L'industria dell'abbigliamento contribuì di nuovo allo sviluppo delle macchine parlanti quando più tardi Johnson, che era ingegnere in una fabbrica di macchine da cucire, costruì il primo motore a molla di pratico impiego per il **Grammofono.**

L'anno 1901 fu un anno assai importante per l'industria del **Grammofono,** perchè uno scambio di brevetti permise di migliorare notevolmente la qualità degli apparecchi e Caruso cominciò a cantare davanti al registratore. Benchè il **Grammofono** provvisto di motore a molla avesse già un aspetto moderno, il **Fonografo** fu ancora preferito a lungo, probabilmente perchè il fruscìo della puntina prodotto dai cilindri di cera era molto minore di quello dei dischi del **Grammofono,** ancora lontani dalla perfezione dei nostri giorni.

Fig. 3. Una registrazione nel periodo acustico.

§ 2. Il periodo elettrico

Nonostante i miglioramenti cui abbiamo accennato, la qualità della riproduzione rimaneva modesta. Poichè i risultati più discreti erano ottenuti nelle registrazioni di canto, il repertorio dell'epoca è costituito principalmente da registrazioni di questo genere. Verso il 1925 comparve la radiodiffusione che agli inizi sembrò costituire una seria minaccia per il grammofono; ma, come spesso accade, il nuovo, anzichè nemico, si rivelò alleato dell'antico.

I microfoni e le valvole amplificatrici, nonchè i registratori magnetici, dettero ai fabbricanti la possibilità di migliorare notevolmente la qualità dei dischi e quando vennero introdotti anche i pick-up magnetici si aprì per il grammofono un periodo nuovo. Con questi perfezionamenti non fu più necessario limitarsi, come per il passato, ai cantanti d'opera e d'operetta, perchè ogni composizione musicale potè essere registrata e riprodotta in modo più che soddisfacente.

Quando fu introdotto il primo arresto automatico, suonare dei dischi divenne cosa più piacevole e lo divenne ancor più quando il motore elettrico sostituì quello a molla. Quando poi verso il 1930 comparvero i primi cambiadischi automatici, suonare delle opere complete cessò di essere una corvé e divenne un vero godimento.

I buoni complessi grammofonici dell'anteguerra e dell'immediato dopoguerra avevano una gamma di frequenze abbastanza ampia, compresa fra 100 c/s e 5000 c/s circa. I pick-up erano divenuti nel frattempo abbastanza leggeri, la pressione sulla puntina era infatti discesa, dai 150

Fig. 4. Il grammofono elettrico « Porteldisc » 1937

grammi del 1928, a 40 grammi; si potè quindi ridurre la quantità di polvere di ardesia che entrava nel materiale costituente i dischi, il che determinò una diminuzione del fruscìo della puntina. Perciò i **pianissimo** poterono essere registrati con maggior finezza e poichè in pari tempo erano stati apportati all'apparecchiatura di registrazione perfezionamenti che permettevano di dare maggiore ampiezza ai **fortissimo,** la dinamica della musica registrata su dischi aumentò; ciò nonostante, coi suoi 25 dB era ancora notevolmente al disotto del livello di 60 dB che può raggiungere in una sala da concerto.

Importanti progressi tecnici realizzati in diversi campi nel periodo 1940-1945, compresi quelli riguardanti le materie plastiche e la registrazione magnetica dei suoni, si rivelarono molto utili al grammofono. I perfezionamenti apportati al pick-up a cristallo ridussero la pressione sulla puntina a 25 grammi, cioè a un valore sufficientemente basso per permettere l'impiego di dischi stampati in un certo tipo di vinile. Questo materiale è privo di granuli e non provoca quindi praticamente alcun rumore o fruscìo, è infrangibile e se il pick-up è abbastanza leggero, il disco di vinile è anche assai resistente all'usura; purtroppo il costo elevato ne limita alquanto l'impiego. Dopo il 1945 si cominciarono anche a migliorare le caratteristiche di registrazione dei dischi, il che portò come conseguenza una migliore riproduzione dei suoni, specialmente degli alti. Nel 1947 la Philips iniziò la produzione del primo pick-up ultraleggero (che in laboratorio ricevette il soprannome di **scatola di cera**), che fu anche il primo **peso piuma** senza contrappeso.

Già prima della guerra erano state fatte delle prove coi dischi microsolco, ma la tecnica non aveva ancora raggiunto uno stadio di sviluppo sufficiente per consentirne una pratica applicazione. Lo raggiunse nel 1948 e quell'anno comparvero anche sul mercato i primi apparecchi non professionali di registrazione magnetica su filo e su nastro, il cui sviluppo era cominciato si può

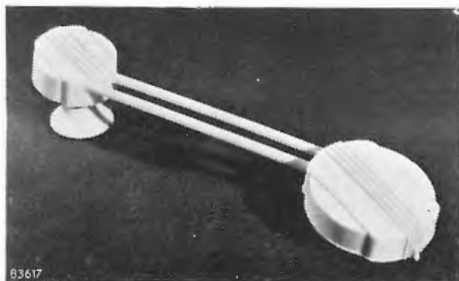



Fig. 5. Il primo pick-up « peso piuma » tipo 2962

dire fin dal 1890. Molti vi videro una minaccia per il grammofono, ma la storia si ripetè e si verificò il contrario. Il registratore a nastro permetteva di eseguire delle lunghe registrazioni senza interruzioni; si potevano togliere i difetti, era possibile riversare queste registrazioni su dischi senza perdere in qualità. Per registrazioni di durata oltre un certo limite il registratore a nastro si rivelò uno strumento indispensabile.

Fig. 6. Il progresso nel periodo 1920-1955. 1) Riproduzione degli alti. 2) Riproduzione dei bassi. 3) Distorsione. 4) Dinamica.

Nel 1948 apparvero anche i dischi a lunga durata (long playing) fabbricati con i nuovi materiali da stampaggio esenti da rumore di fondo. Le limitazioni dovute al fattore prezzo furono superate dal fatto che il disco conteneva tre quarti d'ora di musica ed era infrangibile. Lo sviluppo dei nuovi incisori e dei nuovi amplificatori e l'impiego delle punte da incisione a caldo migliorarono ancor più la qualità delle registrazioni, permettendo la riproduzione senza distorsione anche dei suoni più alti. L'introduzione del solco a passo variabile portò un altro miglioramento, permettendo di allungare ancora la durata di riproduzione e di aumentare la dinamica.

Poichè dal 1947 si impiegano nei pick-up soprattutto puntine di zaffiro e poichè inoltre in questi ultimi anni sono divenute d'impiego sempre più corrente le puntine di diamante, poichè inoltre la pressione sulla puntina è scesa al valore estremamente basso di 10 grammi, l'usura dei dischi è diminuita in modo tale che si può dire che attualmente i dischi possono essere suonati in pratica un numero illimitato di volte con una restituzione musicale di una purezza e di una fedeltà sconosciute in passato.

Nei capitoli seguenti vedremo come si raggiunge questo risultato e quali sono le condizioni cui debbono soddisfare i diversi elementi della catena grammofonica.

CAPITOLO II

DALL'HERTZ AL GRAMMOFONO

§ 1. L'hertz e il decibel

Poichè nel grammofono tutto gravita intorno all'elemento suono, ci occuperemo di questo prima di ogni altra cosa. Il suono comprende tutte le vibrazioni percettibili dall'orecchio, le quali sono essenzialmente vibrazioni dell'aria e, a meno che non sia diversamente indicato, parleremo solo di queste.

Nella maggior parte degli strumenti musicali c'è un elemento che vibra cioè una corda, una membrana, o altro; questo elemento muove l'aria e la fa vibrare a sua volta. Consideriamo ad esempio una pelle di tamburo in vibrazione, che descrive cioè una serie di movimenti di andata e ritorno. Nei movimenti di andata le particelle d'aria che si trovano davanti alla pelle vengono spostate nello stesso senso della pelle, cioè compresse, e comunicano questo movimento alle particelle seguenti; il movimento cioè si propaga. Nel movimento di ritorno della pelle, le particelle d'aria vengono spostate in senso opposto al precedente cioè aspirate e anche questo movimento si propaga. Poichè la propagazione di questi movimenti dell'aria avviene con una velocità ben determinata (343 m/sec), le compressioni e le rarefazioni d'aria si sposteranno una di seguito all'altra in un susseguirsi continuo e il suono risulterà costituito da una serie di onde, come mostrato in figura 7. Per maggior precisione aggiungiamo che il moto delle particelle d'aria è un moto di andata e ritorno, ossia una vibrazione intorno a una posizione centrale. E' il loro movimento, ossia l'onda, che si propaga dalla sorgente sonora all'ascoltatore e non le particelle d'aria.

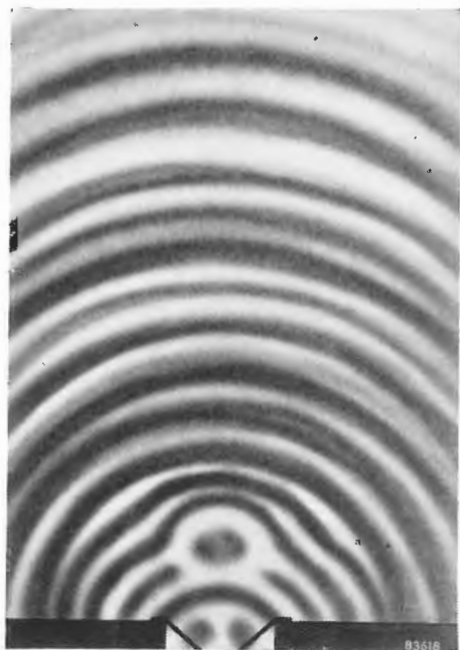



Fig. 7. Onde sonore.

Quando la pelle di tamburo o la corda vibrano molto rapidamente, il che corrisponde

a un suono alto, la distanza fra due successive onde sarà più piccola che nel caso di un suono basso. Questa distanza viene chiamata lunghezza d'onda. L'altezza di un suono può essere misurata anche con la frequenza, che è il numero di vibrazioni complete al secondo. Il La 3 corrisponde a una frequenza di 440 vibrazioni al secondo o 440 hertz; la sua lunghezza d'onda è uguale a cm 78 e la si ottiene dividendo la velocità di propagazione (343 m/sec) per la frequenza.

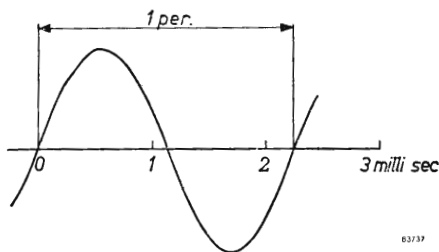



Fig. 8
Rappresentazione grafica di una vibrazione sonora pura.

Consideriamo ora più da vicino una vibrazione e a questo scopo prendiamo un suono puro (cioè senza armoniche), il quale si presenta come illustrato nella fig. 8. Le particelle d'aria si spostano in un primo tempo in una direzione a velocità crescente, poi rallentano gradualmente e a un certo momento si fermano un istante per tornare indietro a velocità in un primo tempo crescente, poi decrescente e così di seguito. Una oscillazione così fatta, costituita da un flusso e da un riflusso, viene chiamata periodo; per tale motivo normalmente si parla di periodi al secondo (o hertz — simbolo Hz — oppure cicli al secondo — simbolo c/s) piuttosto che di vibrazioni al secondo.

In materia di riproduzione musicale, non è solo l'altezza di una vibrazione sonora che interessa, ma anche la sua intensità; più precisamente interessano i rapporti d'intensità fra i diversi suoni, perchè normalmente il livello generale del suono si può variare per mezzo di un regolatore di volume. In acustica, l'unità di misura impiegata normalmente per i rapporti d'intensità sonora è il decibel (dB) che equivale a 10 volte il logaritmo del rapporto fra le intensità sonore o a 20 volte il logaritmo del rapporto fra le pressioni sonore in un punto determinato. Quando l'intensità sonora (o volume o potenza prodotta da un amplificatore) diviene 2 volte maggiore, essa cresce di 3 dB (10 log 2), quando diviene 4 volte maggiore, di 6 dB (10 log 4), ecc. La pressione sonora (o la tensione fornita da un pick-up o da un amplificatore) è allora aumentata 1,4 e 2 volte rispettivamente.

Il decibel corrisponde approssimativamente alla più piccola differenza d'intensità sonora che l'orecchio umano può percepire. Il nostro orecchio è un organo particolarmente sensibile e una pressione sonora di 0,0002 milligrammi/cm^2 è già percettibile. La pressione sonora più elevata che possiamo ancora sopportare senza dolore è di 200 mg/cm^2, il che corrisponde a una pressione sonora e a un'intensità sonora rispettivamente un milione e mille miliardi di volte maggiori. In base a quanto detto la soglia della sensazione dolorosa si trova a 120 dB al di sopra della soglia di audibilità. Nella esecuzione di concerti si verificano differenze di circa 60 dB fra un **pianissimo** e un **fortissimo**; il primo può trovarsi ad esempio 20 dB al di sopra della soglia di audibilità, il che

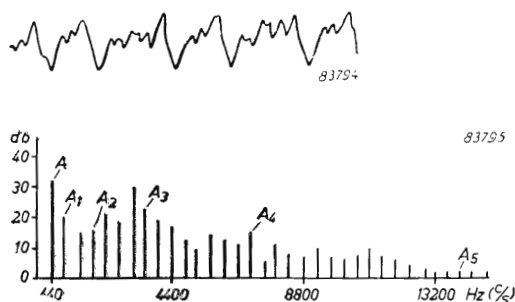



Fig. 9a.
Oscillogramma di un suono di violino.
Fig. 9b. Spettro
delle frequenze di un suono di violino.

corrisponde approssimativamente all'intensità di un sussurro, e il secondo 40 dB al disotto della soglia del dolore, il che corrisponde più o meno all'intensità sonora che si ha in uno scompartimento ferroviario coi finestrini aperti.

La vibrazione rappresentata nella fig. 8 è un suono puro, cioè un suono che in musica non si incontra praticamente mai, tranne forse che in alcune note del flauto. I suoni musicali si compongono infatti di un suono fondamentale e di un certo numero di armoniche. Le armoniche danno ai suoni un carattere particolare (il timbro) diverso da strumento a strumento. In generale le armoniche hanno una frequenza che è un multiplo di quella della fondamentale, cioè doppia, tripla, quadrupla, ecc. Il numero e l'intensità delle armoniche, nonchè il modo come attaccano e si estinguono, determinano appunto il timbro e dipende da queste armoniche se il suono di un oboe è diverso da quello di un violino. Senza le armoniche la riproduzione musicale sarebbe cosa assai più semplice, ma è assai probabile che in questo caso la musica perderebbe ogni fascino e ogni interesse perchè un'orchestra sinfonica darebbe la stessa impressione di alcuni trasmettitori di segnali Morse, legati da un certo ritmo e funzionanti su note diverse.

La fig. 9a mostra l'oscillogramma di un suono di violino, il quale ha un andamento molto più complesso di quello della fig. 8. La fig. 9b dà un'altra rappresentazione di questo suono; i tratti verticali rappresentano la fondamentale A e le diverse armoniche. La lunghezza dei tratti verticali è proporzionale alle intensità dei suoni corrispondenti. Benchè sia la fondamentale a determinare interamente l'altezza del suono, si vede chiaramente quale importanza per la riproduzione rivestano le armoniche. Il violino, ad esempio, produce armoniche particolarmente numerose ed intense, mentre il suono dell'oboe ne presenta meno della metà.

La gamma delle frequenze fondamentali dei diversi strumenti musicali va da 16 c/s a 4000 c/s e un grammofono capace di trasmettere questa gamma non toglierebbe quindi alla riproduzione nemmeno una nota; ma perchè tutti i suoni siano posti nel giusto valore occorre che vengano riprodotte anche tutte le armoniche; in simili casi occorrerà che la gamma delle frequenze riprodotte arrivi almeno fino a 16000 c/s. Poichè lo orecchio umano è in generale insensibile alle frequenze superiori a 16000 c/s, non è strettamente indispensabile superare questo limite; è però necessario farlo per una riproduzione di alta fedeltà.

§ 2. Il principio di funzionamento del grammofono

Con le nozioni già esposte possiamo ora spiegare molte cose del grammofono. Supponiamo che un'orchestra suoni in una sala che presenta solo una piccola apertura chiusa da una membrana, ad esempio un sottile foglio di mica. Quando le vibrazioni sonore arrivano contro questa membrana, la fanno vibrare e la membrana a sua volta mette in vibrazione l'aria all'esterno della sala. In tal modo la musica diviene udibile anche all'esterno della sala. In condizioni ideali i movimenti della membrana saranno identici alle vibrazioni sonore prodotte dall'orchestra. Se ci fosse la possibilità di notare o trascrivere esattamente i movimenti della membrana nel modo illustrato nella fig. 9a e di riapplicarli alla membrana stessa in un secondo tempo, in modo esattamente conforme alle notazioni, si sentirebbe di nuovo la stessa musica. Questo è nella sostanza ciò che avviene in un grammofono.

Nella sua forma più primitiva esso era costituito da una semplice tromba, chiusa all'estremità più stretta da un foglio di mica e orientata verso la sorgente sonora. Un ago fissato al foglio di mica incideva una pista in un cilindro o in un disco di cera; questa traccia corrispondeva esattamente alle vibrazioni sonore che facevano muovere la membrana e l'ago ad essa solidale. Per riprodurre si faceva passare la pista sonora sotto l'ago che veniva quindi sollecitato a vibrare e a sua volta faceva vibrare la membrana; dalla tromba usciva quindi una replica più o meno buona dei suoni originali. Una pista sonora è riprodotta nella microfotografia della fig. 42.

Come già detto nel Capitolo I, al giorno d'oggi, dopo la registrazione, interviene un processo di moltiplicazione per tirare più copie; la registrazione inoltre viene effettuata per via elettrica.

Tutto è diventato molto più complicato, ma il principio fondamentale è rimasto immutato anche negli apparecchi di registrazione su nastro, per quanto lontani possano sembrare dalla macchina di Edison.

CAPITOLO III

DAL SUONO AL DISCO

§ 1. Dal microfono all'orecchio

Per l'autore è motivo di fascino sempre nuovo il fatto che un suono impresso in una materia inerte dopo una serie di trattamenti assai complessi, possa in ogni momento essere riprodotto con una tale rassomiglianza rispetto all'originale che si ha quasi l'impressione di trovarsi nella stessa sala da concerto. Infatti una vibrazione sonora viene fissata in un disco con una precisione che non trova confronti negli altri rami della tecnica.

Il procedimento è indubbiamente complicato. La fig. 10 mostra, semplificandolo, il lungo cammino percorso dal suono. Le vibrazioni sonore captate dal microfono (1) sono da questo convertite in tensioni elettriche, le quali vengono amplificate dall'amplificatore (2) e quindi applicate al registratore a nastro (3). Qui i suoni vengono fissati su un lungo nastro ricoperto di polvere di ferro, sotto forma di piccole zone più o meno intensamente magnetizzate. Questa registrazione su nastro può essere riprodotta in un momento qualunque su un apparecchio di riproduzione (3'), il quale riconverte dunque le vibrazioni registrate sul nastro in oscillazioni elettriche. Queste vengono applicate a una testina d'incisione (4) che imprime le vibrazioni sonore in un disco di cera detto l'**originale**. Nel reparto galvanoplastica (5) l'**originale** viene impiegato per ricavare delle **matrici** che nel reparto stampaggio (6) servono a pressare i dischi. A casa nostra il pick-up (7), esplorando il disco, converte di nuovo in oscillazioni elettriche le vibrazioni sonore esistenti sul disco stesso; l'amplificatore (8) e l'altoparlante (9) fanno il resto e a noi altro non rimane che ascoltare.

In questo capitolo non diremo molto sul microfono; il quale d'altronde funziona secondo gli stessi principi del fonorivelatore che verrà trattato nel Capitolo IV. Entrambi questi organi hanno funzioni assai simili e il nome di **microfono a puntina** dato in Scandinavia al pick-up è scelto in realtà molto felicemente. Anche per il registratore a nastro, per l'amplificatore e per il principio di funzionamento della testina d'incisione rimandiamo ai capitoli seguenti, per passare ora ad occuparci della incisione della cera e del procedimento successivo.

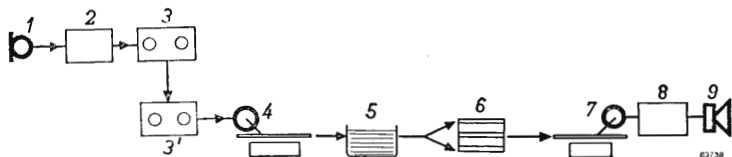



Fig. 10. Dal microfono all'orecchio.

§ 2. L'incisione

Mentre per il disco da mettere in vendita è preferibile un materiale piuttosto duro, per il disco da incidere come « originale » si preferisce un materiale assai tenero.

In passato l'incisione veniva effettuata su un disco di cera dello spessore di alcuni centimetri, con la superficie ben spianata e levigata. Oggi si impiegano invece quasi unicamente dischi all'acetato, i quali sono costituiti da un supporto metallico piano sul quale è steso un sottile strato molto omogeneo di una vernice speciale a base di acetato. Questo acetato, liquido a temperatura relativamente elevata, solidifica a temperatura leggermente superiore a quella ambiente. Il solco tracciato in un tale disco è molto sottile e lo strato di acetato deve quindi rispondere a condizioni molto severe perchè le minime porosità o granulosità darebbero luogo a rumore di fondo e crepitìo inammissibili. Anche la superficie deve essere perfettamente regolare se si vogliono fare dei dischi veramente di qualità. Per i dischi da incisione dai quali non si ricavano matrici si è meno severi sui requisiti e si tollera qualche piccola irregolarità superficiale; per gli **originali** invece che servono di base a un processo di moltiplicazione, la superficie deve risultare senza imperfezioni e l'aspetto che presentano è quello di uno specchio perfetto.

Quando si suona un disco sul grammofono, il pick-up viene guidato sul disco dal solco che vi è impresso. Il solco manca in registrazione e la punta d'incisione deve dunque spostarsi sull'**originale** in modo da tracciarvi detta spirale. Per fare questo si guida la testina d'incisione ad esempio per mezzo di un alberino elicoidale che ruotando lentamente la sposta dall'esterno verso l'interno del disco. Ora, poichè in alcuni dischi microsolco due solchi contigui distano solo 0,08 mm e poichè i solchi occupano anch'essi un certo spazio e non debbono in alcun modo nè intersecarsi nè toccarsi, è facile immaginare a quali condizioni di precisione deve soddisfare il meccanismo di guida. Ogni gioco o variazione di velocità, per quanto minimi, si tradurranno inevitabilmente in un difetto tale che il disco non potrà essere accettato e verrà rifiutato. Inoltre ogni vibrazione del meccanismo può ripercuotersi nel solco e lasciarvi una traccia che si rivelerà in seguito mediante un ronzio.

Soddisfare solo queste condizioni renderebbe le cose già abbastanza complicate, ma in questi ultimi anni un nuovo problema è venuto ad aggiungervisi, quello del solco a passo variabile. Già coi dischi di gomma lacca che girano alla velocità di 78 giri al minuto, la distanza fra i solchi non è sempre la stessa. Una faccia di un disco da 30 cm può contenere circa 4½ minuti di musica; ma quando per caso una composizione dura solo 4 minuti, il fabbricante preferisce che la faccia del disco sia completa, per evitare che il disco incontri difficoltà nella vendita. Si può risolvere questo problema aumentando leggermente il passo della spirale, ad esempio cambiando gli ingranaggi fra il motore e l'alberino.

Il problema inverso, cioè quello di un pezzo che non entra in una faccia di un disco, è più difficile da risolvere. In un caso simile occorrerebbe

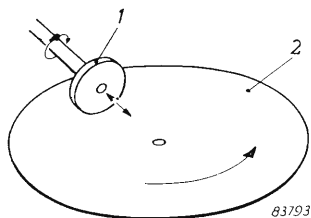



Fig. 11. Movimento dell'alberino di guida nell'incisione del solco a passo variabile.

avvicinare i solchi, ma nei passaggi forti, ad esempio in un pieno orchestrale, c'è il rischio che i solchi si accavallino. In passato questa difficoltà si superava attenuando i segnali più forti, ma in tal modo la dinamica risultava alquanto sacrificata, il che è meglio evitare. La soluzione migliore è di aumentare il passo della spirale nei passaggi forti e di diminuirlo nei passaggi deboli. Siccome non è evidentemente possibile cambiare gli ingranaggi nel corso dell'incisione di un disco, in questi ultimi anni sono stati elaborati alcuni metodi con i quali è possibile variare con continuità la velocità di traslazione della testina d'incisione. Con uno di questi metodi l'alberino di guida non viene mosso mediante ruote dentate; alla sua estremità esso è provvisto di una piccola puleggia con guarnizione di gomma (1 nella fig. 11) che appoggia su un piatto ruotante a velocità costante (2). La puleggia (1) può spostarsi lungo l'alberino e la sua velocità è allora funzione del punto dove tocca il piatto di trascinamento (la velocità di rotazione della puleggia diminuisce quando la puleggia stessa si avvicina al centro del piatto). Spostando la puleggia, si può quindi variare la velocità di traslazione della testina d'incisione e quindi il passo del solco. La sola difficoltà che resta è la necessità di essere preavvertiti di un passaggio musicale forte perchè il passo del solco deve essere aumentato con un certo anticipo rispetto all'arrivo di un **fortissimo** e inoltre questo aumento deve avvenire molto gradatamente per evitare inconvenienti. Con l'ausilio della partitura musicale è evidentemente possibile prendere al momento giusto le misure necessarie, ma il tecnico che segue l'incisione del disco ha già molte cose di cui occuparsi e questa nuova responsabilità aumenterebbe le sue preoccupazioni.

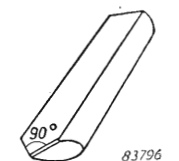
Poichè attualmente l'« originale » viene sempre ricavato da una registrazione su nastro, esiste la possibilità di comandare automaticamente il moto della testina d'incisione. A una certa distanza dalla testina di riproduzione del registratore a nastro (la quale è collegata all'amplificatore d'incisione) e con un certo anticipo rispetto a questa, è disposta una seconda testina di riproduzione. La tensione fornita da quest'ultima viene applicata a un amplificatore speciale che dopo averla opportunamente manipolata, la applica a un dispositivo che regola automaticamente la posizione della puleggia sull'alberino di guida. Un po' prima che alla testina di incisione giunga un **fortissimo,** la puleggia (1) si sposta verso l'esterno del piatto di trascinamento (2) e dopo che il **fortissimo** è passato, torna verso il centro. Il metodo sopra illustrato non è che uno fra molti. Ce n'è un altro ad esempio in cui l'alberino di guida viene mosso da un motore sincrono alimentato da un generatore la cui frequenza varia proporzionalmente alla tensione della testina di riproduzione ausiliaria.

Naturalmente all'amatore di dischi importa poco come si fa a variare il passo del solco, purchè gli si diano registrazioni di una durata massima e di una dinamica avente tutta l'ampiezza possibile. Un disco con sol-

co a passo variabile si riconosce dai caratteristici cerchi più o meno brillanti che presenta la sua superficie e benchè l'aspetto non ne tragga giovamento, la qualità della musica ne risulta migliorata considerevolmente. Naturalmente questo sistema viene usato quando è utile usarlo, non quando, ad esempio, c'è da incidere un pezzo di violino.

Durante l'incisione del disco, il solco viene costantemente tenuto sotto controllo al microscopio, come illustrato nella fig. 12. Dato che il solco deve sempre avere una larghezza e una profondità ben determinate, questa precauzione non è superflua. Aggiungiamo che il truciolo prodotto dalla punta d'incisione non deve mai arrotolarsi intorno alla punta stessa, perchè in tal caso il solco ne verrebbe danneggiato; inoltre i bordi del solco debbono risultare perfetti ed esenti da sbavature, che invece tendono a formarsi sotto la pressione della punta. Infine il tecnico deve controllare che i solchi non si avvicinino troppo.

Il truciolo di cui abbiamo parlato costituisce un problema serio, co-

Fig. 12. Incisione del disco all'acetato.

Punta d'incisione.
Fig. 13.

me possono constatare i lettori che incidono dischi con apparecchiature a carattere domestico. In queste apparecchiature il truciolo viene allontanato mediante una spazzola di cammello. Nelle apparecchiature professionali il truciolo viene aspirato con una pompa a vuoto, le cui canalizzazioni sono chiaramente visibili nella figura 12. Per effetto della carica elettrostatica che assume all'atto della formazione, il truciolo tende a restare attaccato dove tocca; per tale motivo anche negli studi professionali di registrazione si preferisce tenere un pennello a portata di mano.

La punta d'incisione è di zaffiro o di diamante; essa è assai piccola, ma nonostante le dimensioni ridotte è stata oggetto di numerosi studi da parte di tecnici valenti. La forma e la precisione della lavorazione hanno un'importanza fondamentale perchè è appunto in dipendenza di queste che il solco risulta netto e senza sbavature. Come si può vedere nella fig. 13 l'estremità della punta è tagliata a spigoli vivi, con facce piane. Vedremo più avanti quale influenza ne derivi nella riproduzione; come inciso diciamo fin d'ora che in riproduzione vengono invece usate puntine tonde, allo scopo di evitare un'usura eccessiva del disco.

I recenti miglioramenti nella qualità dei dischi sono in gran parte dovuti all'impiego di punte d'incisione più perfezionate e principalmente all'introduzione delle punte a caldo (hot stylus). La punta deve aprirsi la strada nella vernice dura e si comprende facilmente come questa operazione risulti facilitata e riesca meglio se effettuata a caldo; si ottengono in tal modo risultati molto migliori, specialmente per le frequenze più alte (lunghezze d'onda minori). Inoltre il solco tracciato da una punta calda risulterà più levigato e quindi il rumore di fondo del disco sarà minore. Scaldare tutto il disco non è possibile perchè la vernice si scioglierebbe; l'arte consiste nel fornire alla punta solo il calore sufficiente perchè la vernice diventi pastosa a contatto della punta stessa e si rassodi immediatamente dopo il suo passaggio. La punta si può ad esempio scaldare elettricamente mediante una piccola spirale avvolta intorno ad essa. Aggiungiamo però che la testina d'incisione e il disco non debbono scaldarsi e che le distanze rispettive sono dell'ordine del millimetro o della frazione di millimetro e che pertanto la punta calda è cosa più semplice da descrivere che da realizzare. Però il riscaldamento della punta compensa ampiamente gli sforzi fatti per la sua realizzazione perchè con una punta a freddo si ottengono meno armoniche di ordine elevato e un rumore di fondo all'incirca triplo rispetto alla punta a caldo.

Il tracciato dei solchi d'ingresso e di fine corsa non presenta difficoltà di sorta, dato che esistono apparecchiature ausiliarie speciali per questo scopo. Menzioniamo ancora che i dischi da incisione all'acetato sono di diametro maggiore del disco finito, in modo da lasciare un margine esterno per il fissaggio al piatto e per le regolazioni preventive prima di iniziare l'incisione vera e propria. Di solito si usano dischi all'acetato di 40 cm di diametro.

Prima dell'avvento della registrazione su nastro, l'incisione di un di-

sco era un'operazione fastidiosa perchè il minimo errore commesso nell'incisione diretta obbligava gli artisti a ricominciare tutto da capo. Il registratore a nastro è, fortunatamente, molto paziente e se capita che un disco all'acetato non riesca bene, il registratore ricomincia senza protestare. Questo, naturalmente elimina buona parte della tensione nervosa e il tecnico addetto alla incisione può dedicarsi con maggior serenità ai suoi compiti. Inoltre, una seconda incisione di un disco non è una cosa che costi eccessivamente ed oggi, se si riscontra un piccolo difetto, vi si ricorre più spesso di prima perchè non è più necessario trattenere in studio un centinaio di musicisti.

§ 3. Dall'originale alla matrice

La tappa seguente, nella fabbricazione dei dischi fonografici, è la formazione della **matrice** mediante procedimento galvanoplastico. L'**originale** viene posto in una soluzione chimica nella quale si fa passare una corrente elettrica che vi deposita uno strato metallico. La prima cosa da fare è di rendere l'**originale** elettricamente conduttore. In passato per questo scopo si stendeva sulla cera incisa un sottile velo di grafite. Questo velo, molto sottile per alterare il meno possibile la forma del solco, riceveva poi il deposito metallico. Quando il deposito metallico aveva raggiunto uno spessore sufficiente veniva tolto e costituiva una **matrice,** la quale era dunque il negativo della cera. Attualmente questo procedimento è stato perfezionato ed è divenuto anche molto più complesso.

Il velo di grafite conferiva allo strato superficiale del disco una struttura troppo ruvida che aumentava il rumore di fondo; attualmente i dischi all'acetato incisi vengono tuffati per un istante in una soluzione di cloruro di stagno, quindi immediatamente risciacquati in modo che non resti che uno strato estremamente sottile di cloruro. Poi viene polverizzata sull'**originale** una soluzione di nitrato d'argento, ha luogo uno scambio chimico fra stagno e argento e nello spazio di pochi secondi alla superficie del disco si forma uno strato brillante di argento dello spessore di alcune molecole solamente.

Fig. 14. Bagno galvanico per la formazione del « padre ».

Un altro metodo consiste nel collocare l'**originale** sotto una campana a vuoto fra un anodo e un catodo d'oro. Applicando ai due elettrodi una tensione continua di 4000 V si produce una scarica che polverizza molecole d'oro sull'**originale.** Questo procedimento era tenuto in molta considerazione fino a qualche anno fa, probabilmente perchè l'oro è caro e quello che è caro deve essere buono. L'esperienza ha però mostrato che il procedimento al nitrato d'argento è altrettanto efficace e molto più economico in pratica, in modo che si può dire che in tutte le fabbriche di dischi attualmente viene seguito questo sistema.

Il disco argentato viene passato immediatamente al lavaggio per asportare il nitrato in eccesso ed è quindi pronto per il trattamento successivo che consiste nel far depositare per galvanoplastica uno strato metallico di un certo spessore sulla pellicola d'argento. Questo metallo può essere nichel o rame. All'inizio la nichelatura o la ramatura debbono essere condotte molto lentamente affinchè il metallo prenda una struttura molto fina; quando lo strato ha raggiunto un certo spessore si può accelerare la condotta dell'operazione. Dopo che lo strato metallico ha acquistato una sufficiente rigidezza, si toglie il tutto dal bagno, si lava e mediante attrezzi speciali si asporta il disco all'acetato che va perso.

La copia metallica del disco così ottenuta, coi solchi in rilievo (negativo), viene normalmente chiamata **padre.** Anzitutto si toglie lo strato di argento che si ossida rapidamente. Poichè questo strato è sottilissimo, può essere tolto senza influenzare minimamente la qualità. Il **padre** viene quindi trattato in modo che un metallo possa depositarsi sulla sua superficie senza aderirvi. In realtà il **padre** potrebbe senz'altro servire da matrice, ma se si danneggiasse o si logorasse occorrerebbe rifare un **originale,** il che si cerca di evitare per motivi di carattere economico.

Dal **padre** si ricava una nuova impronta metallica, detta **madre,** con operazioni analoghe a quelle sopra descritte; questa volta però il metallo invece di essere depositato sull'**originale** (positivo) viene depositato sul **padre** (negativo). Quando la **madre** è pronta la si separa dal padre e si ha quindi una copia esatta dell'**originale.** Questa copia ha i solchi incavati e può quindi essere suonata con un pick-up, cosa che non si manca di fare a titolo di controllo. La **madre** viene quindi esaminata al microscopio, lavata, dopo di che con lo stesso procedimento sopra descritto vi viene fatto depositare su un nuovo strato di metallo. Questa impronta costituirà la **matrice** che servirà allo stampaggio dei dischi, ma porta ancora provvisoriamente il nome di **figlio.** Questo è, come il **padre,** di nuovo un negativo e non può dunque essere suonato, ma può essere usato, pressandolo su una massa plastica, per ricavare un positivo che può essere suonato.

Il **figlio** viene rinforzato superficialmente mediante una pellicola assai sottile di metallo duro, come il cromo, per evitare un'usura rapida o possibilità di guasti. Fatta la **madre,** il **padre** viene messo in magazzeno e conservato con ogni cura. La **madre** ha una vita più laboriosa perchè quando una **matrice** si è consumata o non serve più, la **madre** viene usata per dare vita a un nuovo **figlio.** Solo quando la **madre** è danneggiata (o si è consumata anch'essa se si tratta di una registrazione particolarmente venduta) si ricorre di nuovo al **padre.**

Il procedimento che abbiamo sommariamente descritto è uno dei più belli da vedersi nella fabbricazione dei dischi grammofonici. Le soluzioni chimiche usate nei bagni galvanici assumono all'improvviso bei colori vivaci, il disco e i liquidi sono tenuti in continuo movimento per favorire l'uniformità dei depositi metallici; in breve, per dare un'idea esatta di tutto questo sarebbe più indicato l'estroso pennello di un artista che lo obiettivo di un apparecchio fotografico. In fabbrica però non c'è tempo per soffermarsi ad ammirare lo spettacolo perchè urge prendere il **figlio** e farne una **matrice.** Anzitutto occorre spianare perfettamente il dorso per adattarlo esattamente alla pressa. Questa operazione viene effettuata su un tornio molto grande — deve lavorare **figli** di 30 cm di diametro — ed è sorprendente che una macchina così grossa dia la precisione richiesta. Il tornitore deve essere molto abile e deve avere molta cura della sua macchina.

Il foro centrale del disco ha subito delle deformazioni nel corso delle operazioni precedenti e non è più utilizzabile; occorre perciò rifarlo. Ciò significa che il **figlio,** che è già praticamente una **matrice,** deve essere centrato su una macchina speciale; si tratta di determinare il centro di una spirale, il solco è appunto tale, al decimo di millimetro per evitare spiacevoli fluttuazioni nei suoni (wow) in riproduzione; è evidente che ci sono delle difficoltà, maggiori di quanto non si creda. Lungo il solco della matrice si fa scorrere una punta, collegata mediante un sistema di leve a un indice e quando questo, dopo molti ritocchi alle regolazioni del banco di centratura, è quasi fermo, ossia quando le oscillazioni sono divenute assai piccole, si punzona il centro della matrice. In questo foro si introduce un blocchetto che porta uno stelo del giusto diametro che serve a formare il foro centrale dei dischi. Poichè questo stelo si consuma più rapidamente della matrice, si deve poterlo sostituire di quando in quando, altrimenti una parte dei dischi prodotti rischierebbe di avere il foro centrale troppo piccolo per il perno del piatto giradischi.

Fig. 15. Macinazione e stacciatura delle materie prime per lo stampaggio.

§ 4. Lo stampaggio del disco

Fino a questo punto non ci siamo preoccupati se i dischi da fare debbano essere a mi-

crosolco o a solco normale. Possiamo ora dire che le operazioni relative ai primi debbono essere effettuate con maggiore cura di quelle relative ai secondi.

I dischi a 78 giri al minuto sono di gomma lacca, i dischi microsolco di una varietà di vinile. Alla gomma lacca per i primi (la gomma lacca è la secrezione di un insetto assai comune in alcune regioni dell'India) si aggiungono altre sostanze come il copale (resina naturale dura che trova impiego anche nelle imitazioni dell'ambra), la stearina, il nerofumo che dà al disco il suo colore caratteristico, ecc. Queste sostanze vengono macinate, stacciate e mescolate con estrema cura; le operazioni in argomento costituiscono uno dei procedimenti industriali più rumorosi che esistano. Il frastuono è così assordante che ai visitatori che entrano in un reparto di macinazione è opportuno dare due tamponi d'ovatta per le orecchie all'ingresso e un cachet all'uscita. Con le materie prime fresche si macinano anche dischi invenduti, scarti e rottami del reparto stampaggio.

Quando le materie prime sono intimamente mescolate, vengono scaldate fino allo stato pastoso, quindi lavorate alla impastatrice e passate sotto un enorme rullo dal quale escono sotto forma di un foglio continuo che viene disteso su un lungo tavolo e tagliato in pezzi della grandezza sufficiente per un disco. Poco prima dello stampaggio questi pezzi vengono di nuovo scaldati dando loro la forma di un **panino** (detto anche **biscotto** o **piazza**).

Le materie prime, diverse dalle precedenti, per i dischi microsolco sono principalmente la vinilite, che quando arriva in fabbrica ha l'aspetto di una polvere bianca, e il nerofumo già menzionato. La loro lavorazione è più o meno simile a quella della gomma lacca, ma si è trovato che si ottiene una maggiore omogeneità non partendo dalla forma di **panino** bensì da forme più piccole, a chicchi dette **perle,** prodotte in quantità molto grandi da macchine speciali. Poichè sono praticamente di vinile puro, i dischi microsolco risultano flessibili e quasi infrangibili; il rumore di fondo è molto basso ma il costo della materia prima non ne permette l'impiego nei dischi a 78 giri al minuto. Per completare l'argomento aggiungiamo che il vinile si usa talvolta anche nei dischi a 78 giri al minuto in sostituzione della gomma lacca quando l'approvvigionamento della gomma lacca presenta delle difficoltà. La composizione della pasta è però tale che le proprietà del disco non cambiano rispetto a quelle del disco di gomma lacca. I dischi così fatti risultano quindi fragili e il rumore di fondo evidente. La qualità finale dipende in massima parte dalla percentuale di additivi che nei dischi microsolco è minima.

I dischi di gomma lacca e i dischi microsolco vengono fabbricati su presse dello stesso tipo. Si impiegano due matrici, una viene fissata sulla piastra inferiore (fissa) della pressa, l'altra sulla piastra superiore (mobile). Le due matrici vengono scaldate a vapore e raffreddate ad acqua. L'operatore mette anzitutto sulla matrice inferiore un'etichetta, su questa pone il **panino** preriscaldato, poi applica un'etichetta sulla matrice superiore e quindi serra la pressa. Il **panino** (oppure la dose di **perle**) per effetto del calore diviene molle rapidamente, la massa pastosa si spande su tutta la superficie del disco e penetra fra i solchi delle matrici. Do-

Fig. 16. Pressa.

po un tempo determinato, che è assai breve, le matrici vengono raffreddate, la pressa viene aperta e viene tolto il disco stampato; altro non resta da fare che ripulire l'orlo dalle sbavature e arrotondarlo.

La pressione, il tempo in cui questa viene esercitata, la durata del riscaldamento e del raffreddamento, il valore delle temperature differiscono secondo che si tratta di dischi microsolco o di dischi di gomma lacca. Dall'esterno della pressa non si può controllare come si forma e come riesce il disco; ma la precisione con la quale i diversi cicli sono rispettati ha una grande influenza sulla qualità del disco stesso. Per tale motivo tutto viene regolato automaticamente. La pressa viene però alimentata e azionata a mano perchè se si volessero eliminare queste operazioni, eseguite da un operaio, occorrerebbe impiegare una macchina di una complessità tale che le spese di esercizio supererebbero abbondantemente il salario dell'operaio.

Mettere a punto e regolare la pressa per fare sovrapporre esattamente le due matrici è un'operazione che richiede mano d'opera specializzata e assorbe molto tempo; pertanto la fabbricazione di piccole serie di dischi non è conveniente, con gran dispiacere dei collezionisti che deplorano la mancanza di alcune registrazioni poco richieste.

E' cosa eccezionale che un disco venga messo in vendita con un'etichetta errata oppure con le etichette delle due facce scambiate. Non perchè gli operai addetti alle presse non sbaglino mai, ma perchè c'è un controllo prima della spedizione. Ogni disco viene attentamente esaminato ed ogni esemplare che presenti difetti visibili torna al reparto macinazione dove viene ridotto in polvere prima di ricominciare una nuova vita.

I dischi non vengono suonati tutti uno ad uno prima della spedizione, semplicemente perchè a suonarli ci vuole molto più tempo che a stamparli, soprattutto quando si tratta di dischi microsolco in cui il tempo per suonarli può essere 40 volte quello per stamparli. Se ad ogni pressa si mettessero 40 controllori il prezzo dei dischi aumenterebbe considerevolmente e per tale motivo ci si contenta di controllare un certo numero di campioni presi a caso. Il numero e le modalità dei controlli sono stabiliti in modo tale che se si trova un esemplare con un difetto che può esistere anche in altri pezzi precedenti, questi possono essere rin-

tracciati in massima parte e la quantità di esemplari difettosi risulta quindi la più ridotta possibile. Con le opportune precauzioni prese nella fase di fabbricazione, i rischi di difetti gravi sono minimi e in generale questi difetti vengono scoperti dai controllori meccanici, molto pratici del loro mestiere, prima che ne abbia l'occasione il controllo musicale.

Dal momento in cui è stata effettuata la registrazione su nastro fino al momento in cui il primo disco entra nella propria busta, possono essere passati molti mesi, ma fin dal primo istante il suono è stato messo **in scatola** così perfettamente che può essere conservato indefinitivamente senza che vada perso nulla del suo carattere iniziale. E nonostante le numerose e complicate manipolazioni, la perdita finale di qualità della incisione sul disco rispetto alla registrazione sul nastro è così piccola che viene difficilmente notata, anche con le migliori installazioni di riproduzione. Con le installazioni di riproduzione alle quali non è applicabile questo superlativo, la differenza di qualità non sarà percettibile affatto. Il che significa che il solco del disco messo in vendita presenterà differenze inferiori a 1/10 di micron (dunque meno di 1/10000 di millimetro) rispetto all'**originale** e quindi il giudizio espresso all'inizio di questo capitolo a proposito della estrema precisione dei dischi è pienamente giustificato.

CAPITOLO IV - A

PICK-UP - FUNZIONAMENTO

§ 1. Condizioni generali da soddisfare

Il fonorivelatore, comunemente chiamato pick-up, ha il compito di convertire in oscillazioni elettriche le vibrazioni sonore incise sul disco. Le vibrazioni sonore sono incise sul disco sotto forma di ondulazioni del solco e muovendosi il disco rispetto alla puntina, le ondulazioni fanno vibrare quest'ultima. Il compito che deve assolvere il pick-up è di convertire le vibrazioni meccaniche della puntina in oscillazioni elettriche; è dunque essenziale che i movimenti della puntina esplorante siano identici il più possibile ai movimenti originali della punta d'incisione. Ora, a parte alcune limitazioni insite nella natura delle cose, che illustreremo in seguito e a causa della quali le due vibrazioni non si possono far coincidere esattamente, nel fonorivelatore esistono dei fattori che influiscono sulla traduzione della modulazione del solco in movimenti della puntina. A tale riguardo è assai importante il modo con cui la puntina è resa solidale col corpo del pick-up e in realtà queste due parti non si possono considerare come due cose distinte, ma come un tutto unico.

Lo scopo fondamentale cui deve tendere un fonorivelatore è quello di convertire le vibrazioni meccaniche in oscillazioni elettriche con perfetta fedeltà, cioè senza nulla aggiungere alle vibrazioni incise sul disco che possa apportare una deformazione o introdurre suoni estranei, senza nulla esaltare per non far predominare certi suoni su certi altri, senza nulla attenuare o togliere per non alterare il timbro di certi suoni o sopprimerli. E' necessario poi che questa conversione avvenga con un rendimento sufficientemente elevato, cioè che il fonorivelatore produca una tensione di valore piuttosto alto per non richiedere troppa amplificazione, ma senza per questo causare eccessiva usura al disco. Anzi, particolarmente per la musica classica, l'usura deve essere praticamente nulla. Un fonorivelatore deve essere anche sufficientemente robusto per non aver bisogno di cure particolari, deve richiedere solo un minimo di manutenzione, il che implica che la puntina dovrà essere sostituita di rado, ma soprattutto deve essere concepito e realizzato in modo da non aver bisogno per molto tempo di essere portato al Servizio. Se per certi pick-up, ad esempio per quelli usati negli studi di radio-diffusione, sono necessarie revisioni frequenti, per i pick-up usati dai privati le revisioni frequenti sono da evitare. Terminiamo questa lista di desiderata aggiungendo che il prezzo è opportuno che risulti il più basso possibile; esigenza questa, naturalmente, alquanto in contrasto con tutte le precedenti.

Da quanto sopra esposto risulta che la concezione e la fabbricazione di un pick-up sollevano molti problemi per i quali sono state ricercate soluzioni nelle vie più diverse. Praticamente sono stati sperimentati tutti i metodi conosciuti di conversione di vibrazioni meccaniche in oscillazioni elettriche. I principali tipi di pick-up, elencati in ordine di diffusione, sono:

— pick-up a cristallo (piezoelettrico)
— pick-up magnetico
— pick-up dinamico
— pick-up a condensatore

Sono stati realizzati inoltre pick-up fotoelettrici, a resistenza variabile ed elettronici, ma sono ancora così poco impiegati che ci asteniamo dal parlarne.

Il primo tipo citato, il pick-up a cristallo, è quello generalmente più a buon mercato e per tale ragione più usato. Gli altri tipi sono tutti più cari e la loro vendita è naturalmente più limitata. Senza tener conto di giudizi spesso fondati su esperienze acquisite con modelli antiquati, che dal punto di vista qualitativo non avevano ancora raggiunto le possibilità attuali, riteniamo che si possano oggi ottenere eccellenti risultati con tutti i tipi di pick-up sopra menzionati e che in linea di principio non abbia molta importanza il sistema scelto per convertire le vibrazioni meccaniche in oscillazioni elettriche. Ci sono presentemente in commercio dei pick-up a cristallo che danno una riproduzione migliore di molti altri pick-up più cari di diversa concezione. Naturalmente questo non va generalizzato, perchè per ogni tipo ci sono dei pick-up più buoni e dei pick-up meno buoni.

§ 2. Il pick-up a cristallo

Nel 1880 Pietro Curie e suo fratello Giacomo scoprirono insieme un fenomeno che chiamarono piezo-elettricità. Questo nome (piezo = pressione) fu dato a un fenomeno comune ad alcuni cristalli che quando vengono sottoposti ad una sollecitazione meccanica si caricano elettricamente e, inversamente, quando si applica loro una tensione elettrica si deformano meccanicamente. Questo fenomeno è caratteristico di un numero limitato di sostanze che si presentano tutte sotto forma cristallina.

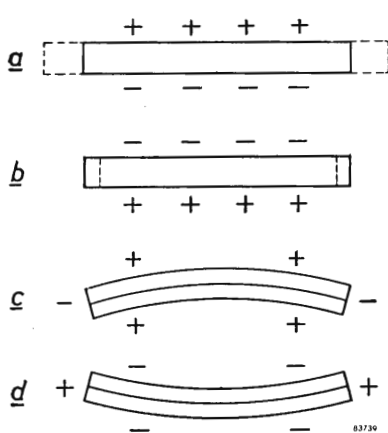



Fig. 17. Principio di funzionamento del pick-up a cristallo.

Il caso che ci interessa è quello in cui delle forze applicate a una sostanza piezoelettrica vengono da questa convertite in cariche elettriche, ma noi esamineremo prima ciò che avviene nel caso inverso, cioè nel caso in cui a un cristallo viene applicata una tensione elettrica. Nella fig. 17a vediamo che se viene applicata una tensione elettrica a una lamina di cristallo piezoelettrico, le cui facce opposte siano state rese conduttrici (la faccia superiore positiva + e la faccia inferiore negativa —), questa lamina si allunga. Se invertiamo la tensione la lamina si accorcia (fig. 17b). Se si sovrappongono due lamine e si applica una tensione nel modo indicato nella fig. 17c, la lamina superiore tende ad allungarsi e quella inferiore ad

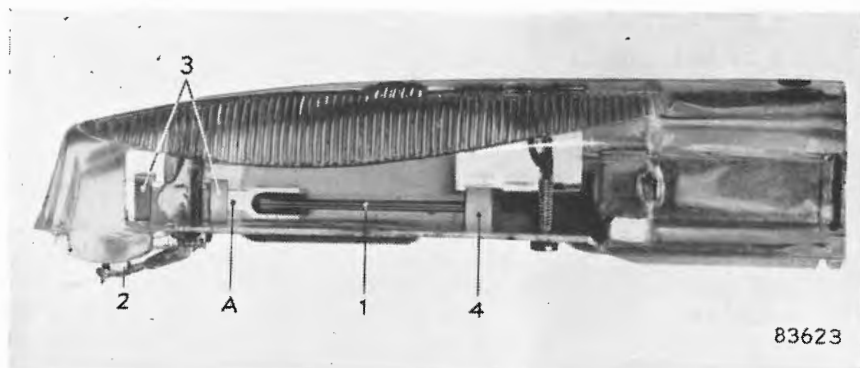



Fig. 18. Pick-up a cristallo tipo AG 3010.

accorciarsi; se le due lamine sono incollate l'una sull'altra non esiste che una sola possibilità e il complesso s'incurva. Naturalmente l'allungamento o l'accorciamento delle lamine non si verificano comunque, ma sono determinati dal modo con cui le lamine stesse sono state tagliate nel cristallo originale. Reciprocamente si osserva che se si curva una tale combinazione di due lamine di cristallo, vi compaiono delle tensioni come indicato nella fig. 17c; se le due lamine vengono curvate in senso opposto, la tensione cambia anch'essa di senso (fig. 17d). Questo è appunto il principio di funzionamento del pick-up a cristallo. Due lamine incollate, con le facce esterne rese conduttrici, sono incastrate a un'estremità e portano all'altra una puntina; le ondulazioni del solco del disco fanno oscillare la puntina e le lamine vengono dunque continuamente curvate in un senso e nell'altro in modo che la carica sulle facce esterne varia continuamente. Questa carica viene prelevata sotto forma di tensione elettrica alternata.

La realizzazione pratica è un po' più complessa. Invece di sottoporre le lamine del cristallo a flessione si sollecitano a torsione, senza che questo influisca sul principio di funzionamento. Inoltre la puntina non viene fissata direttamente all'elemento di cristallo perchè la qualità della riproduzione risulterebbe assai cattiva. Nella fig. 18 è riprodotta una soluzione adottata in pratica. L'elemento di cristallo (1) è incastrato a destra in (4); a sinistra si vede l'armatura A all'estremità della quale è fissata la puntina (2). L'armatura è sorretta da due collari (3) entro i quali può ruotare e perciò può seguire i movimenti della puntina.

Poichè l'armatura è investita mediante una forcella sull'estremità di sinistra dell'elemento di cristallo, i movimenti dell'armatura stessa vengono comunicati al cristallo che risulta soggetto a torsione; si genera in tal modo una tensione elettrica fra le due superfici conduttrici del cristallo. Questa rappresentazione delle cose è anch'essa alquanto semplificata. Tutte le parti che compongono il pick-up a cristallo hanno delle proprie frequenze di risonanza, alle quali corrispondono dei suoni critici

che vengono riprodotti in modo particolarmente intenso. Ciò non è ammissibile in una riproduzione di qualità e per smorzare o sopprimere le risonanze, si interpone fra l'elemento di cristallo e la forcella dell'armatura mobile una sottile guarnizione di gomma. Per la stessa ragione l'incastro del cristallo (4) e i collari (3) sono fatti di gomma opportunamente indurita e l'elemento di cristallo è immerso in una gelatina speciale che serve a smorzare maggiormente le risonanze dannose. Torneremo in seguito su una seconda funzione di questa gelatina.

Non tutte le sostanze cristalline presentano proprietà piezoelettriche; la più usata di tali sostanze è il sale di Seignette (detto anche sale di La Rochelle). La fabbricazione di lamine per pick-up a cristallo viene effettuata partendo da un grosso cristallo di sale di Seignette. Questi cristalli vengono coltivati ponendo un nucleo cristallino, non molto più grosso di una testa di spillo, in un recipiente contenente una soluzione satura di sale di Seignette alla temperatura di circa 50° C. La temperatura iniziale della soluzione viene fatta diminuire molto lentamente, cioè in 4-6 settimane, fino alla temperatura ambiente. Durante questo tempo il nucleo cristallino ingrossa fino a raggiungere alla fine il peso di diversi chilogrammi. Il grosso cristallo così ottenuto viene tagliato in lastre, queste in strisce e queste ultime in piastrine. Le facce delle piastrine vengono rese conduttrici con grafite o metallo e cementate due a due, dopo di che vi si fissano i conduttori di uscita.

Il sale di Signette presenta molte buone qualità, ma anche altre meno favorevoli. Nell'acqua, o in aria molto umida, si scioglie. In aria molto asciutta si secca e si polverizza. A temperature superiori a 50° C - 55° C perde l'acqua di cristalizzazione e si dissolve. Pertanto un cristallo di sale di Seignette dura a lungo se conservato a temperatura e con un grado di umidità moderato. Esso può essere seriamente danneggiato dal calore generato dall'apparecchio grammofonico, dall'elevata umidità dell'aria causata da un brusco raffreddamento, come avviene nelle regioni tropicali e subtropicali.

Per contrastare l'influenza dannosa dell'umidità, l'elemento di cristallo può essere ricoperto di cera o vernice; se questo dà un certo grado di protezione, la protezione non è assoluta perchè, a lungo andare, il vapor acqueo penetra all'interno dello strato protettore. Racchiudere l'elemento di cristallo in una custodia a tenuta ermetica non è possibile perchè la puntina deve uscirne; pertanto la sola soluzione pratica è di avvolgere il cristallo di uno strato di grasso o di gelatina che ostruisca tutte le aperture senza però intralciare i movimenti della puntina. Come abbiamo già detto, la gelatina ha anche un'influenza favorevole sulla riproduzione e, come ultimo vantaggio, dà anche una certa protezione meccanica al cristallo preservandolo da rotture.

I primi pick-up a cristallo si guastavano assai presto già a temperature inferiori a 50° C; inoltre erano realizzati con una tecnica ancora imperfetta e pertanto la riproduzione era lungi dall'essere buona. Il pick-up piezoelettrico presenta il vantaggio di fornire una tensione elevata, dell'ordine di 1 V, che può quindi essere applicata senza preamplificazione anche ad un normale radioricevitore. Il peso estremamente ridotto (6 grammi per il pick-up riprodotto nella fig. 18) rende naturalmente minima

l'usura dei dischi. Tali motivi, unitamente a un prezzo relativamente basso, spiegano la diffusione del pick-up a cristallo, nonostante i pregiudizi ai quali è stato inizialmente esposto. Quando ne tratteremo le proprietà elettriche vedremo che la sua diffusione trova giustificazione anche nell'attuale qualità della riproduzione.

Fig. 19. Circuito equivalente del pick-up a cristallo.

Oltre al sale di Seignette, due altri materiali cristallini vengono impiegati per fabbricare pick-up piezoelettrici. Il primo è il fosfato di ammonio acido (A D.P.) in generale più conosciuto sotto la denominazione commerciale P.N. Questa sostanza resta utilizzabile fino a temperature di 100° C, non perde acqua col riscaldamento e la sua sensibilità all'umidità è all'incirca uguale a quella del sale di Seignette. Un inconveniente di questi cristalli è la loro bassa capacità interna (qualche centinaio di picofarad contro i 2000 pF del sale di Seignette), in modo che la resistenza d'ingresso dell'amplificatore deve essere scelta molto elevata per evitare attenuazione troppo marcata delle note basse (vedi fig. 19). In queste condizioni il cordone del pick-up può captare molto ronzio e se il cordone è lungo può anche causare, per effetto della capacità propria, attenuazione nella riproduzione delle note alte. Per tale motivo il pick-up di A.D.P. viene usato solo quando il conduttore di collegamento con l'amplificatore può essere molto corto. Poichè inoltre la tensione prodotta non è molto elevata, l'A.D.P. è meno diffuso del sale di Seignette.

La terza sostanza, il titanato di bario, differisce dalle precedenti per essere una sostanza policristallina e soprattutto per essere un materiale ceramico; ne consegue che umidità e temperatura non hanno praticamente alcuna influenza sulla sua durata, teoricamente illimitata. Purtroppo però il titanato di bario presenta alcuni svantaggi. Come quasi tutti i materiali ceramici è assai fragile, in modo che non si possono ottenere lamine molto sottili; queste per conseguenza risultano piuttosto rigide, il che è sfavorevole alla riproduzione tanto delle note basse che di quelle alte. Inoltre la tensione fornita è troppo piccola per poter essere applicata direttamente a un radioricevitore normale perchè è dell'ordine di grandezza di 0,1 V. Malgrado il forte spessore delle lamine, le possibilità di rottura sono ancora piuttosto grandi. Una caratteristica particolare del titanato di bario è che le lamine debbono essere polarizzate per presentare proprietà piezoelettriche; a temperature elevate tali lamine perdono le proprietà piezoelettriche, che però una nuova polarizzazione può loro restituire. Le lamine vengono polarizzate applicando per un tempo brevissimo all'uscita dell'elemento del pick-up una tensione continua di valore opportunamente elevato. La fabbricazione delle lamine di titanato di bario presenta maggiori difficoltà di quelle di sale di Seignette e a tale proposito è più esatto parlare di un'arte anzichè di una tecnica. Queste difficoltà, unitamente alle proprie meno favorevoli del titanato di bario, spiegano il perchè questi pick-up di materiale ceramico sono ancora poco diffusi.

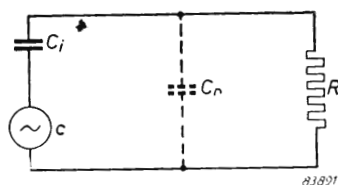
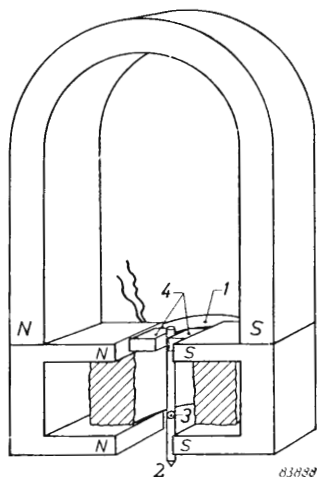



Fig. 20.
Pick-up magnetico.

§ 3. Il pick-up magnetico

Fino al 1940 questo tipo di pick-up è stato il più diffuso. Due caratteristiche sfavorevoli e cioè il peso piuttosto elevato e la bassa tensione fornita gli hanno fatto perdere molto terreno in questi ultimi anni. Però in seguito ai perfezionamenti recentemente apportati nella sua costruzione, si sono ottenuti notevoli progressi riguardanti il peso e la qualità della riproduzione, in modo che il pick-up magnetico ha ripreso di nuovo attualmentê un posto piuttosto importante.

Il pick-up magnetico è basato su un principio di funzionamento del tutto diverso dal precedente. Quando una bobina è immersa in un campo magnetico e l'intensità del campo varia, nella bobina nasce una tensione elettrica indotta, il cui segno dipende dal modo come varia il campo magnetico. L'esempio più semplice è quello di una bobina nella quale viene introdotto un magnete permanente. Quando il magnete viene introdotto, un capo della bobina diviene, ad esempio, positivo; quando il magnete viene estratto, il capo che era positivo diviene negativo. Mentre il magnete è fermo, nella bobina non si produce alcuna tensione. Le tensioni che vengono indotte nella bobina sono proporzionali all'intensità e alla velocità di variazione del campo magnetico all'interno della bobina. Ha anche influenza la direzione del campo magnetico che deve coincidere con l'asse della bobina stessa, perchè un flusso magnetico perpendicolare all'asse non può generare tensioni indotte.

La fig. 20 rappresenta un pick-up magnetico semplificato. Esso si compone di una bobina (1) disegnata in sezione, disposta fra le due estremità polari di un magnete a ferro di cavallo; l'estremità polare di sinistra rappresenta il polo nord e quella di destra il polo sud. Al centro della bobina si trova l'equipaggio mobile, costituito da una barretta di ferro dolce che porta, all'estremità inferiore, la puntina (2). La barretta è imperniata nel punto (3) intorno al quale può oscillare. Quando è in posizione esattamente verticale ed è quindi equidistante dai poli nord e sud, la barretta non viene attraversata da linee di forza del campo magnetico. Quando la puntina si sposta verso destra, la parte inferiore della barretta si avvicina al polo sud e la parte superiore al polo nord. Una parte del campo magnetico entra per conseguenza nella barretta e attraversa dunque la bobina secondo il suo asse. Nell'istante in cui la barretta comincia ad abbandonare la posizione mediana, il campo magnetico comincia ad attraversare la bobina e quindi a variare e per conseguenza nella bobina stessa si induce una tensione, la quale risulta tanto più elevata quanto più rapido è lo spostamento della barretta. Quando la

puntina si sposta verso sinistra si verifica la stessa cosa, ma il campo attraversa la bobina in senso opposto. Quando la puntina oscilla, è dunque un campo alternato che attraversa la bobina e ai capi di questa si ottiene una tensione alternata.

E' facile comprendere che per effetto delle diverse forze in giuoco, in posizione verticale la barretta è in una forma di equilibrio instabile e tende a cadere da una parte o dall'altra e ad attaccarsi alle estremità polari del magnete. Per evitare ciò sono previsti i due cuscinetti ammortizzatori (4). Questi sono generalmente di gomma e tengono la barretta centrata senza però impedirle di seguire le ondulazioni del solco del disco.

Il pick-up magnetico permette di ottenere un'ottima qualità di riproduzione, ma a causa della presenza di ferro, il peso risulta piuttosto elevato. Gli ammortizzatori di gomma, che sono qui un elemento costitutivo molto più importante che nel pick-up a cristallo, sono soggetti ad usura e tendono ad indurire col tempo, influendo in tal modo sfavorevolmente sulla qualità della riproduzione. Inoltre la barretta oscillante tende ad assumere col tempo una certa anche se leggera magnetizzazione permanente e quindi ad essere attratta da una delle due parti con maggior forza che dall'altra, il che è un'altra causa di peggioramento della qualità di riproduzione.

Il segnale fornito da un pick-up magnetico è in generale molto più debole di quello fornito da un pick-up a cristallo; è cioè dell'ordine di 0,1 V e in un pick-up di qualità, ancora più basso. Infatti quando la distanza fra la barretta e le estremità polari del magnete è piccola, la sensibilità del pick-up è elevata, ma le variazioni del campo magnetico attraverso l'armatura mobile non sono proporzionali agli spostamenti, quindi distorsione. E' per tale motivo che per una riproduzione di qualità è necessario un grande traferro, il che però ha una ripercussione sfavorevole sul valore della tensione fornita.

I moderni pick-up funzionanti sul principio sopra illustrato sono i pick-up a riluttanza variabile. Il principio di funzionamento è lo stesso, ma la realizzazione attuale, schematicamente illustrata in fig. 21, presenta alcuni vantaggi sulle precedenti. Invece di una bobina ne vengono impiegate due e l'armatura mobile oscilla fra le estremità dei nuclei sui quali sono avvolte le due bobine (1). Il magnete è indicato con (4). Quando l'armatura mobile oscilla, il campo magnetico che attraversa le bobine varia con legge alternata. In questo pick-up l'armatura può essere sospesa in modo da non richiedere ammortizzatori di centraggio e una sua eventuale magnetizzazione permanente risulta me-

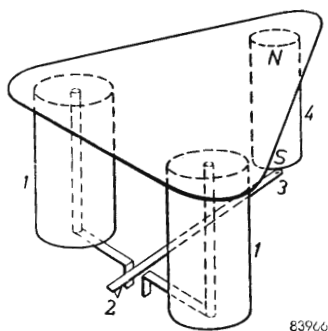



Fig. 21.
Pick-up a riluttanza variabile.

no dannosa. Anche sotto questa forma però il rivelatore magnetico genera un segnale così piccolo (circa 8 millivolt) che è necessaria un'amplificazione supplementare. Il pick-up pesa circa 30 grammi, il che comporta un progresso considerevole rispetto ai vecchi modelli.

§ 4. Pick-up e microfoni dinamici

Il principio di funzionamento dei pick-up dinamici presenta un'analogia molto stretta con quello dei pick-up magnetici e, in fin dei conti, sono entrambi basati sugli stessi fenomeni fisici. Nei pick-up magnetici la tensione nella bobina viene generata dalla variazione d'intensità del campo magnetico che attraversa la bobina stessa. Nei pick-up dinamici invece è la direzione della bobina che varia rispetto alla direzione del campo magnetico, oppure la direzione del campo rispetto a quella della bobina. Anche in questi casi nasce una tensione indotta nella bobina durante lo spostamento dell'elemento mobile e il valore della tensione prodotta è funzione della velocità del movimento.

La fig. 22 rappresenta un pick-up elettrodinamico semplificato. Fra le estremità polari di un magnete permanente a ferro di cavallo è posta una bobina estremamente piccola e leggera (1). Questa bobina può oscillare intorno a un perno (3) e porta la puntina (2). Quando oscilla, la bobina si muove rispetto al campo magnetico esistente fra le due estremità polari e perciò vi viene indotta una tensione; cioè la bobina oscillando per effetto dei movimenti impressi alla puntina dal solco del disco diviene sede di una tensione alternata che viene applicata all'amplificatore. Come per il pick-up magnetico anche qui occorre che la bobina sia sostenuta da un supporto che le impedisca di restare inclinata da una parte; ma il problema principale resta quello di rendere la bobina più leggera possibile. Per tale motivo essa comprende in generale solo poche spire di filo di rame molto sottile e pertanto il segnale fornito è molto debole, dell'ordine di alcuni millivolt solamente.

I pick-up elettrodinamici hanno una resistenza interna molto bassa, talvolta di qualche ohm solamente, mentre quella dei pick-up magnetici raggiunge parecchie migliaia di ohm. Questa bassa resistenza presenta il vantaggio di permettere l'impiego di un trasformatore di adattamento elevatore di tensione, in modo che la preamplificazione occorrente risulta minore. Questo trasformatore in più rappresenta però un aumento di costo, soprattutto perchè richiede una schermatura assai efficiente per evitare ronzii. I pick-up elettrodinamici non sono molto usati.

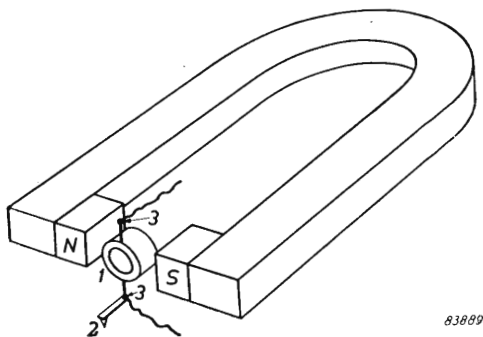



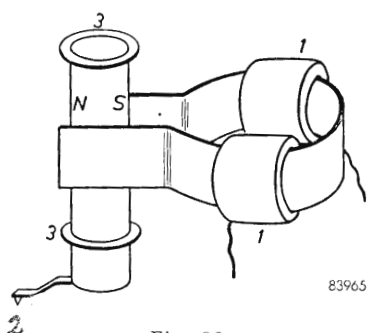
Fig. 22. Pick-up elettrodinamico.

Sostituendo la puntina con una membrana si ottiene un microfono che, se ben concepito, è di ottima qualità e per tale motivo molto usato negli studi di registrazione. Le vibrazioni dell'aria sono, per la natura stessa delle cose, ancora più deboli delle vibrazioni comunicate dal solco del disco alla puntina e pertanto ha importanza ancora maggiore che le parti mobili del microfono siano leggere; per tale motivo in certi microfoni la bobina è sostituita da un solo piccolo nastro di alluminio che funziona anche da membrana. Questi microfoni a nastro sono particolarmente buoni. Naturalmente sarebbe possibile realizzare anche un pick-up con un nastro al posto della bobina, ma il segnale fornito diverrebbe in tal caso assai debole.

Fig. 23
Pick-up magnetodinamico.

Il pick-up magnetodinamico è divenuto una possibilità pratica per il fatto che sono ora disponibili materiali magnetici come il Ferroxdure con i quali si fanno barrette sottili che possono essere magnetizzate anche lateralmente, mentre con gli acciai magnetici, come ad esempio il Ticonal e il Reco, non è possibile realizzare poli magnetici longitudinali. Una barretta magnetizzata di Ferroxdure (che è un materiale ceramico) può cioè essere rappresentata sotto forma di un cilindretto magnetizzato trasversalmente, col polo nord e il polo sud disposti nel senso della lunghezza e diametralmente opposti, mentre in una barretta simile di acciaio magnetico i poli possono essere solo le facce piane circolari di estremità.

Il funzionamento del pick-up magnetodinamico è illustrato nella fig. 23. Una barretta di Ferroxdure (3) magnetizzata permanentemente (solo 0,8 mm di diametro) è posta fra le due estremità di una staffa ad U che porta due bobine (1). Il polo nord della barretta di Ferroxdure è rivolto verso l'avanti ed è esattamente equidistante dai due rami della U; il polo sud è rivolto in senso opposto ed è anch'esso esattamente equidistante dai due rami della U. Quando le ondulazioni del solco fanno oscillare la puntina (2), il polo nord, visto dalla puntina, si sposta ad esempio verso destra e il polo sud verso sinistra in modo che un flusso magnetico passa attraverso la staffa ad U. Poco dopo il polo nord si sposta verso sinistra e il polo sud verso destra e il senso del flusso magnetico nella staffa ad U s'inverte. Perciò le bobine disposte sui due rami della U vengono attraversate da un flusso magnetico alternato e quindi divengono sede di una tensione alternata indotta. Poichè nel pick-up magnetodinamico le bobine restano immobili, possono essere molto più grosse che nel pick-up elettrodinamico.

Senza dubbio il piccolo magnete di Ferroxdure non ha la stessa potenza del magnete del pick-up elettrodinamico, ma a conti fatti, a parità di peso totale, il pick-up magnetodinamico ha una maggior sensibilità del

pick-up elettrodinamico; la tensione fornita si aggira in media sui 20 mV.

Inoltre, a causa del maggior numero di spire della bobina si può fare a meno del trasformatore di adattamento. Da rilevare che il peso della barretta di Ferroxdure è inferiore al peso della più piccola bobina mobile impiegabile a questo scopo, il che riveste una particolare importanza per la riproduzione degli alti. Non solo, ma per effetto della sua forma cilindrica, il momento d'inerzia dell'equipaggio mobile del pick-up magnetodinamico è estremamente piccolo. Il segnale fornito è però ancora troppo debole ed è necessaria una preamplificazione per poterlo applicare a un radioricevitore.

§ 5. Pick-up e microfoni a condensatore

Questo gruppo si distingue da tutti i precedenti per il fatto che occorre impiegare una tensione ausiliaria. Il principio di funzionamento è assai semplice (fig. 24). Se si prendono due piccole lamine metalliche, una fissa (1') e l'altra mobile (1) assai vicine, esse formano un condensatore, la cui capacità è determinata alle dimensioni delle lamine stesse e dalla distanza che le separa. Fissando una puntina alla lamina mobile, la distanza varia per effetto della deflessione causata dalla modulazione del solco e la capacità varia quindi, in più o in meno, in proporzione. Resta ora da trovare come convertire delle variazioni di capacità in variazioni di tensione. Esistono due metodi per ottenere questo risultato. Il primo è basato sul fatto che la carica (= quantità di elettricità) di un condensatore è uguale al prodotto della capacità per la tensione applicata: formula $Q = C \times V$. Se con un sistema qualsiasi si mantiene costante la carica mentre varia la capacità, la tensione dovrà variare in modo inversamente proporzionale alla capacità; queste variazioni di tensione vengono poi applicate all'amplificatore. Per soddisfare le condizioni di cui sopra, il pick-up o il microfono vengono inseriti attraverso una resistenza di valore elevato su una tensione continua, ad esempio di 200 V. A causa del valore elevato della resistenza, supponiamo 100 megaohm, la carica del condensatore non può variare rapidamente e per conseguenza sa-

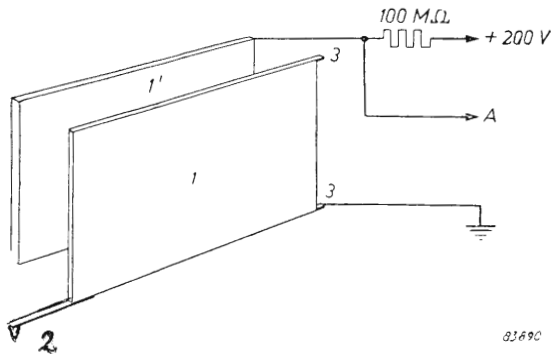



Fig. 24.
Pick-up a condensatore.

rà la tensione ai capi del condensatore a variare. Il microfono a condensatore ha proprietà così eccellenti che si accettano gli inconvenienti che presenta; fra gli altri quello di richiedere una tensione ausiliaria e, per evitare una perdita di sensibilità (dovuta alla capacità del cavetto), la necessità di dover mettere la prima valvola amplificatrice nella custodia del microfono stesso. Per misure acustiche il microfono a condensatore è il tipo più indicato. A quanto ci risulta fino ad oggi, non esistono pick-up commerciali a condensatore.

Il secondo metodo per convertire le variazioni di capacità in tensioni alternate consiste nell'impiegare l'elemento capacitivo del microfono o del pick-up come condensatore d'accordo di un trasmettitore FM miniatura. Quando l'armatura mobile del condensatore vibra, il trasmettitore viene modulato in frequenza; il segnale FM viene inviato a un ricevitore FM assai semplice che lo converte in segnale di bassa frequenza; questo viene applicato all'altoparlante attraverso un amplificatore. Il metodo sopra descritto presenta sui precedenti il vantaggio che le tensioni in giuoco sono molto più elevate, in modo che il rischio di ronzii diviene molto minore. Benchè il trasmettitore FM debba essere montato nelle immediate vicinanze del microfono, per il collegamento al ricevitore FM o ad apparecchiatura di altro tipo si può impiegare un cavo, di tipo adatto, della lunghezza di diversi metri.

Per ottenere una sensibilità sufficiente, alcuni microfoni e pick-up a condensatore presentano, per segnali intensi, una certa percentuale di distorsione. Abbiamo già segnalato la cosa per i pick-up magnetici e occorre considerarla anche per i pick-up dinamici, ma il problema assume maggior rilievo nei pick-up a condensatore. Per ottenere infatti un'elevata sensibilità, si deve ridurre la distanza fra la lamina fissa e quella mobile; in tale modo le variazioni di capacità non risultano più proporzionali agli spostamenti della membrana ma per vibrazioni di ampiezza maggiore crescono in misura superiore. E' però possibile introdurre nel trasmettitore FM una distorsione uguale e di senso contrario in modo che le due si compensino.

Le apparecchiature accessorie necessarie e le difficoltà di regolazione relative, che non debbono essere sottovalutate, almeno per un dilettante, sono le ragioni che ostacolano la diffusione commerciale del pick-up a condensatore. Il microfono a condensatore viene usato in molti studi di registrazione.

CAPITOLO IV - B

PICK-UP - PROPRIETA'

§ 6. Caratteristica di frequenza.

Prima di illustrare nel dettaglio le proprietà del pick-up, prenderemo in esame la caratteristica di registrazione nella sua forma fondamentale. La caratteristica di registrazione verrà studiata in modo particolareggiato nel Capitolo V; ci limiteremo ora ad esaminare la caratteristica anteguerra delle registrazioni a 78 giri al minuto, che in realtà risale al periodo acustico.

Gli spostamenti del cono di un altoparlante o della membrana di mica della tromba di un antico grammofono sono, a parità d'intensità sonora, massimi per le note basse e diminuiscono man mano che la frequenza aumenta. La stessa cosa si può osservare nelle corde dei vari strumenti a corda, ad arco, a plettro o pizzicati. Se abbiamo la possibilità di effettuare delle misure, constatiamo che lo spostamento dell'elemento vibrante di una sorgente sonora è, a parità d'intensità sonora, inversamente proporzionale all'altezza della nota, cioè alla frequenza. Ci rifeririamo qui all'intensità sonora fisica e non all'intensità della sensazione; c'è infatti differenza fra le due a causa delle proprietà dell'orecchio umano (vedi pag. 100).

Se dunque si paragonano due suoni di uguale intensità, per esempio un La3 (frequenza 440 c/s) e un La4 (frequenza 880 c/s) si constata che l'ampiezza (lo spostamento) delle vibrazioni che producono il suono più alto è uguale alla metà dell'ampiezza delle vibrazioni che producono il suono più basso. Considerando inoltre che una vibrazione completa periodo corrispondente al La4 di frequenza più elevata (880 c/s) si compie in un tempo uguale alla metà di quello necessario per una vibrazione del La3 (440 c/s) si conclude che la velocità di vibrazione delle particelle d'aria è la stessa nei due casi. Quindi, a *intensità sonore uguali*, l'ampiezza delle vibrazioni è inversamente proporzionale alla frequenza e la velocità di vibrazione dell'aria o della membrana è indipendente dall'altezza del suono. Quanto sopra detto è riportato graficamente nella fig. 25, nella quale la linea a tratto continuo **v** rappresenta la **velocità** e la curva tratteggiata **a** **l'ampiezza** delle vibrazioni per le diverse frequenze.

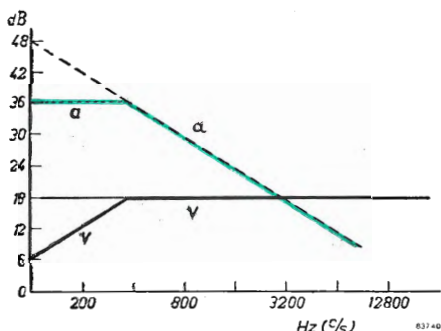



Fig. 25. La caratteristica di registrazione fondamentale.

In una registrazione ideale le vibrazioni sonore dovrebbero essere incise sul disco senza alte-

razioni. Poichè nessuna installazione grammofonica è esente da rumore di fondo e poichè il disco stesso presenta un suo rumore, specialmente i dischi anteguerra, l'ampiezza più piccola da riportare sul disco deve essere scelta in modo che il suono corrispondente non risulti coperto dal rumore e dalle altre perturbazioni. Dalla figura si rileva che questa condizione deve essere osservata per il suono più alto da riprodurre, cioè per il suono di 12800 c/s. Ammettendo che a questo suono corrisponda un'ampiezza di 2 micron, per il suono di 100 c/s si troverà un'ampiezza molto maggiore, cioè 256 micron. Poichè la distanza fra due solchi di un disco da 78 giri al minuto non misura che 100 micron, occorre che i suoni più bassi vengano notevolmente attenuati per evitare che due solchi adiacenti si accavallino; in pratica il limite teorico di 50 micron può arrivare a 64 micron. In tali condizioni l'ampiezza corrispondente al suono di 100 c/s dovrà essere ridotta a un quarto, cioè di 12 dB; a 200 c/s l'attenuazione necessaria per limitare l'ampiezza a 64 micron è di 6 dB e a 400 c/s non c'è più bisogno di attenuazione. La variazione per la caratteristica di ampiezza al disotto di 400 c/s è dunque rappresentata dalla linea punteggiata; mentre la linea a tratti e punti rappresenta la variazione della caratteristica di velocità per le frequenze inferiori a 400 c/s.

Con i dischi dell'epoca acustica, la compressione alle basse frequenze era ottenuta per amore o per forza dal cattivo rendimento, alle note basse, delle trombe impiegate. Nelle registrazioni elettriche questo risultato viene ottenuto mediante l'impiego di filtri di correzione.

Come abbiamo già detto nei paragrafi 3 e 4 del Capitolo IV-A, le tensioni prodotte dai pick-up magnetici e dinamici sono proporzionali alle velocità dell'elemento mobile, cioè alle velocità di vibrazione della puntina; la linea **V** della fig. 25 è dunque anche la caratteristica di riproduzione dei pick-up magnetici e dinamici. Nei pick-up piezoelettrici e a condensatore, la tensione è proporzionale all'*ampiezza del movimento della puntina* e la linea **a** è dunque in generale la caratteristica di riproduzione di questi tipi di pick-up. Nel primo caso c'è quindi scarsità di suoni bassi e nel secondo sono precisamente i suoni di frequenze superiori a 400 c/s che sono troppo deboli. In entrambi i casi c'è però la possibilità di apportare una correzione. L'elemento di cristallo del pick-up piezoelettrico può fornire in linea di principio una tensione molto alta, dell'ordine di 15 V, che è più che sufficiente allo scopo. Agendo sul sistema di accoppiamento fra la puntina e le lamine di cristallo in modo che l'accoppiamento stesso risulti per i suoni di frequenza bassa più lasco che per quelli di frequenza alta, si riesce ad appiattire la caratteristica di riproduzione e, come si vede in fig. 26 che riporta la caratteristica del pick-up tipo AG 3012,

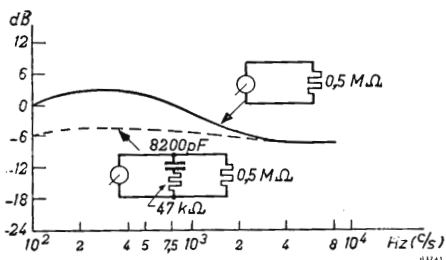



Fig. 26. Caratteristica di riproduzione del pick-up AG 3012.

si ottengono per questa via eccellenti risultati. La caratteristica in esame, rilevata col disco HMV DB 4037 (fino a 8000 c/s), mostra che la differenza di sensibilità fra 400 c/s e 8000 c/s è solo di 9 dB invece che di 27 dB. Benchè molti preferiscano una riproduzione alquanto rinforzata dei bassi, la caratteristica di riproduzione può essere resa praticamente rettilinea per mezzo di un semplice filtro elettrico (curva tratteggiata della fig. 26).

Per quanto riguarda i pick-up magnetici e dinamici non si può seguire questa via; la tensione d'uscita fornita da questi pick-up è piccola e il sistema di correzione suddetto non è applicabile. Senza dubbio si potrebbe compensare in parte la perdita dei bassi rendendo l'armatura risonante ad esempio a 150 c/s, ma questo metodo conduce a una considerevole perdita di qualità della riproduzione e non è in pratica oggi più seguito. I bassi vengono portati al livello voluto per mezzo di un filtro di correzione incorporato nell'amplificatore (vedi pag. 98).

La caratteristica di riproduzione di un pick-up è funzione non solo delle sue proprietà ma anche delle proprietà del disco che è servito a ricavarla. Pertanto una caratteristica di riproduzione data senza far menzione del disco di misura impiegato è priva di valore. Benchè la determinazione di questa caratteristica sia una delle operazioni più semplici che si possano effettuare in laboratorio, si constata purtroppo regolarmente che le caratteristiche pubblicate non riflettono sempre la realtà e che assai spesso vengono tracciate con ottimistici metodi grafici anzichè sperimentalmente. Per i pick-up magnetici e dinamici si dà talvolta la caratteristica di riproduzione che si riferisce a un disco ipotetico, atto ad imprimere alla puntina una velocità di vibrazione costante in tutta la gamma di frequenze. Purchè ci si serva di un disco di misura appropriato e le correzioni siano apportate solo per le frequenze più basse, non c'è nulla da obiettare. Un'altra causa di incertezza è che un disco di misura a microsolco può dare una caratteristica di riproduzione che si discosta da quella di un disco di gomma lacca, a solco normale, inciso secondo la stessa caratteristica di registrazione. E' un punto assai importante nel caso di pick-up a due puntine, una per microsolco e una per solco normale, per i quali ci si accontenta spesso di effettuare una sola misura. Per effetto della maggior elasticità del vinile del disco microsolco, i suoni più alti risulteranno leggermente più deboli in riproduzione rispetto al disco di gomma lacca; inoltre col disco microsolco la risonanza del pick-up si sposta alquanto verso le note basse.

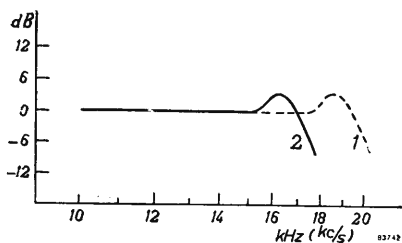



Fig. 27. Influenza del materiale costituente il disco nella caratteristica di riproduzione.

I pick-up con caratteristica piana presentano un punto di maggior sensibilità, ossia a una certa frequenza, che è elevata, sono più sensibili che alle frequenze più basse; tali pick-up divengono poi quasi in-

sensibili alle frequenze ancora maggiori; la cosa è dovuta in generale a una risonanza dell'armatura mobile. Questa punta nella caratteristica di riproduzione e la eventuale caduta rapida al di là favoriscono le frequenze vicine a quella di risonanza in misura maggiore di quanto non lo faccia supporre la curva; per effetto di questa risonanza il suono diviene molto più intenso e per tale motivo ci si sforza di portare questa punta per quanto possibile fuori della gamma delle frequenze udibili.

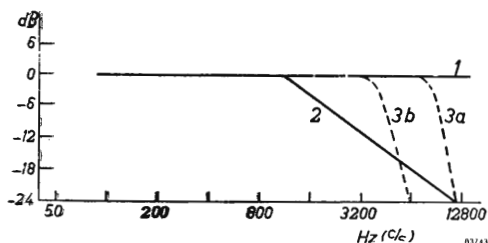
Fig. 28. Caratteristiche di riproduzione di diversi tipi di pick-up.

Il comportamento di un pick-up sui dischi microsolco non può dunque essere dedotto con certezza da misure eseguite per mezzo di dischi di gomma lacca. La fig. 27 mostra i risultati che possono essere ottenuti con lo stesso pick-up su un disco di gomma lacca (1) e su un disco identico di vinile (2).

Le caratteristiche di riproduzione dei pick-up si possono raggruppare in tre categorie. La prima comprende quelle che, con o senza correzione elettrica, sono virtualmente piane fino alle frequenze udibili più elevate e talvolta oltre. Se anche le altre proprietà del pick-up sono ugualmente buone, si potrà parlare di alta fedeltà (1 nella fig. 28). Le caratteristiche del secondo gruppo sono orizzontali fino a una certa frequenza, poi si abbassano gradualmente (2 nella fig. 28). In linea di massima è ancora possibile una correzione elettrica, ma essa sarà in generale difficilmente realizzabile a causa della grande perdita di amplificazione che ne risulterebbe. Questi pick-up danno un tono caldo, si sente ancora una parte degli alti, ma il timbro caratteristico di un certo numero di strumenti musicali risulta in gran parte alterato.

Le caratteristiche dell'ultima categoria (3a e 3b in fig. 28) cadono rapidamente oltre una frequenza determinata. Si ottiene con ciò un effetto inatteso e cioè il tono diviene più acuto, si ha per così dire l'impressione che ci siano nella riproduzione più note alte di quante non ce ne siano in realtà. Sarebbe difficile spiegare perfettamente questo fenomeno e lo si può paragonare a un accorgimento cui ricorrono talvolta i pittori e i lavandai: aggiungendo un po' di azzurro al bianco, questo dà l'impressione di essere più bianco. Analogamente, limitando lo spettro sonoro in una certa maniera, si ha l'impressione che esso sia più completo; però siccome risulta « più bianco del bianco » il suono si presenta alquanto stridulo.

Nel caso 3a della fig. 28 la frequenza di taglio è piuttosto elevata, il suono diviene un po' troppo acuto, ma un ascoltatore che cerchi appunto la riproduzione degli acuti può avere l'impressione, a torto, che un pick-up del genere sia migliore di uno che presenti la caratteristica 1. Questa riproduzione però stanca e inoltre quando si paragona, ad esem-

pio, il suono di un violino reale col suono di violino riprodotto da un tale pick-up, la differenza risalta nettamente.

La caratteristica 3b ha uno scopo del tutto diverso. Essa taglia tutte le frequenze al di là della frequenza fondamentale più elevata che normalmente si presenta nella musica; con questo pick-up dunque non si sopprime nessuna nota ma si ottiene il risultato che certi suoni non vengono messi interamente in valore, il che in certi casi è un vantaggio. Ad esempio, nei dischi che non sono perfetti, come i vecchi dischi a 78 giri al minuto con molta distorsione e i dischi microsolco non molto ben riusciti, la distorsione, che è costituita soprattutto di frequenze elevate, viene in gran parte soppressa. Anche il rumore di fondo dei dischi di gomma lacca diminuisce. Un tale pick-up ha una sonorità pastosa e riproduce in maniera accettabile anche i dischi non molto buoni; scegliendo opportunamente la pendenza della parte discendente della caratteristica, si può rendere la sonorità ancora più nitida. Non ci si può però spingere troppo in questa direzione, altrimenti la riproduzione diviene di nuovo troppo stridula.

Per una riproduzione di qualità ha importanza la forma della caratteristica anche alle frequenze più basse. Se, con o senza correzione elettrica, la caratteristica è rettilinea fino a 25 c/s anche i suoni più bassi vengono riprodotti fedelmente. Alcuni pick-up però hanno una caratteristica che si abbassa molto rapidamente dopo i 100-150 c/s, in modo che le fondamentali di un certo numero di strumenti musicali si perdono in gran parte. Benchè questa perdita venga in parte mascherata dalle armoniche, che sono ben riprodotte, il suono non conserva la sua qualità originale. Questo taglio è però talvolta voluto per sopprimere un eventuale ronzìo causato dal motore del giradischi.

§ 7. **Forze e masse**

Il pick-up deve esercitare sulla puntina una pressione sufficiente perchè nei passaggi forti la puntina stessa non esca dal solco e nemmeno ne abbia la tendenza; infatti basta questo per causare distorsione e usura eccessiva del disco. D'altra parte la pressione sulla puntina non deve nemmeno essere troppo forte. Per ogni tipo di pick-up c'è una pressione giusta che allo stato attuale della tecnica è quasi senza eccezioni dell'ordine di 10-12 grammi. La pressione sulla puntina è legata a diversi fattori, fra cui la cedevolezza e la massa in movimento sono senz'altro i più importanti. Entrambe hanno attinenza con la mobilità della puntina, la cedevolezza alle basse frequenze, la massa in movimento alle frequenze elevate.

Lo spostamento della puntina dalla sua posizione centrale, alle basse frequenze, richiede una certa forza per vincere la rigidezza della sospensione. Questa rigidezza può essere misurata esercitando sulla puntina una forza nota diretta lateralmente e misurando lo spostamento con un microscopio. La rigidezza viene espressa in grammi al centimetro e può valere ad esempio 500 g/cm = 50 milligrammi al micron. Il valore pratico di questa misura è però piuttosto limitato perchè, in realtà, la puntina va e viene e quindi sono presenti anche forze di attrito e fenomeni di risonanza di cui il metodo sopra illustrato non tiene conto.

E' più esatto far andare e venire la puntina, ad esempio 50 volte al secondo, e misurarne durante il movimento spostamenti e forze in giuoco. Con questo metodo che presenta maggiori difficoltà nell'esecuzione pratica, si determina la cedevolezza, cioè lo spostamento in centimetri risultante dall'applicazione di una forza di una dina all'estremità della puntina (1 dina $\simeq$ 1 milligrammo; scientificamente non è esatto, ma è una libertà che ci prendiamo per semplificare le cose). Per misurare la cedevolezza ci sono due sistemi che purtroppo non danno sempre lo stesso risultato. Questo provoca una grande confusione e bisogna vedervi la ragione della tendenza di alcune Case che seguono il sistema che dà i risultati più bassi a non pubblicarli, mentre altre Case che ricorrono al secondo sistema li comunicano molto più facilmente.

Si può dire che per una buona sicurezza di funzionamento, la cedevolezza deve avere un valore di circa 10^{-6} cm/dina (1 milionesimo di cm/ /dina), cioè circa 0,01 micron al milligrammo. In tali condizioni, se la massima ampiezza che si presenza sul disco è di 64 micron, la forza agente sulla puntina è uguale a 6,4 grammi e poichè la parete del solco ha un'inclinazione di 45° si può stabilire che la pressione sulla puntina deve anch'essa valere almeno 6,4 grammi. Poichè intervengono altri fattori, si prende un certo margine di sicurezza e si assume come pressione sulla puntina il valore di circa 10 grammi. Con valori maggiori di cedevolezza, la pressione sulla puntina può essere minore, ma ci si troverebbe in tal caso in difficoltà alle frequenze elevate.

A frequenze superiori a 2000 c/s la rigidezza della sospensione della puntina cessa di avere importanza ed ha importanza solo la massa in movimento; questa è molto minore della massa totale del pick-up ed è costituita principalmente dalla puntina e da parte dell'armatura. La massa in movimento va e viene molto rapidamente, fino a 10000 volte al secondo e più e viene dunque periodicamente accelerata e frenata. Per coloro che hanno una certa familiarità con la matematica diamo il calcolo seguente. La velocità massima dell'estremità della puntina può raggiungere il valore di 25 cm/sec, il che significa che la velocità istantanea può essere espressa nella forma $v_m = 25 \operatorname{sen} \omega t$. Conseguentemente il valore istantaneo dell'accelerazione è dato da: $a = \frac{dv}{dt} = 25\,\omega \cos \omega t$ e il valore massimo dell'accelerazione è perciò uguale a: $2 \times 25\,\pi f$ dove f è la frequenza. A 10000 c/s il valore dell'accelerazione è di circa 1600000 cm/sec^2, cioè 16 km/sec^2.

Se questa accelerazione durasse 3 minuti, l'estremità della puntina percorrerebbe la distanza fra la Terra e la Luna ed è quindi un bene che questa accelerazione duri un tempo estremamente breve. Tuttavia i valori istantanei delle forze corrispondenti a tali accelerazioni sono considerevoli e mediante la formula $f = m \times a$ (forza = massa x accelerazione) si trova che la forza necessaria per dare a una massa di 1 milligrammo l'accelerazione sopra calcolata è uguale a 1600 dine, cioè 1,6 grammi; se la massa in movimento è di 4 milligrammi — e non è certamente molto — le forze in giuoco alle frequenze elevate sono dello stesso ordine di grandezza che alle basse frequenze con una cedevolezza di 10^{-6} cm/dina.

In tal modo è spiegato il motivo per cui la puntina dei moderni pick-up è così piccola, perchè ogni milligrammo in più l'appesantirebbe impedendole di seguire convenientemente il solco quando la nota è alta e forte e anche se la puntina non uscisse dal solco, ne risulterebbe distorsione e usura eccessiva del disco.

Per il pick-up rappresentato nella fig. 18 la massa in movimento vale circa 6 milligrammi; per il modello della fig. 21 circa 8 milligrammi e per il pick-up magnetodinamico della fig. 23 solo 3 milligrammi, che rappresenta il valore più basso da noi fino ad oggi riscontrato.

Tutto sommato si può concludere che la pressione sulla puntina non può scendere al disotto di un certo limite perchè altrimenti si incontrano difficoltà nella riproduzione degli alti, soprattutto con dischi microsolco degni della qualifica Hi-Fi, e che per la determinazione della pressione sulla puntina non ci si può basare solo sulla cedevolezza.

E' anche importante il modo con cui è ottenuta la pressione sulla puntina. Con un pick-up molto leggero e un braccio anch'esso molto leggero non è difficile realizzare una pressione sulla puntina di 10 grammi; se il pick-up e il braccio sono pesanti è necessario un bilanciamento. Non è esatto ritenere che importi poco in qual modo è ottenuta la pressione sulla puntina perchè a questo riguardo ci sono molte e profonde differenze, come può provarlo l'esempio semplice che segue. Supponiamo di avere una pesante barra di ferro lunga due metri e una sottile assicella di legno della stessa lunghezza, appoggiate senza attrito esattamente al centro. Se ad un'estremità di ciascuna di esse si fissa una puntina sulla quale si pone un peso di 10 grammi, la pressione sulla puntina sarà esattamente di 10 grammi in entrambi i casi (fig. 29). Se si cerca di sollevare prima l'una e poi l'altra appoggiando un dito sotto la puntina, si potrà farlo senza pungersi solo se si tratta dell'assicella di legno, ma con la barra di ferro si farà la dolorosa esperienza che la barra stessa è talmente difficile da muovere che la puntina entra nel dito prima che la barra si decida a spostarsi. Inversamente si constata che una volta sollevate le due puntine a un'altezza ad esempio di 10 cm, occorre più tempo alla barra di ferro per tornare nella sua posizione primitiva di quanto non ne occorra all'assicella di legno.

Fig. 29. Bracci di pick-up leggeri e pesanti.

L'esempio che abbiamo fatto è un esempio limite, le cui conclusioni sono però immediatamente applicabili ai bracci per pick-up bilanciati e non bilanciati. Se a seguito di un urto o di una vibrazione il disco mentre suona si solleva, la puntina deve sollevarsi col disco. Il pesante braccio del pick-up bilanciato si oppone a questo movimento e la puntina danneggia il disco. Il leggero braccio non equilibrato ha naturalmente anch'esso la tendenza a opporsi, ma in misura molto minore. Quando in un secondo tempo la vibrazione cambia senso e il disco scende, il braccio leggero lo segue immediatamente, il braccio pesante è invece più tardo e la puntina si libra un istante al di sopra del disco col rischio che quando lo raggiunge di nuovo può non farlo nel punto giusto. Gli stessi fenomeni

si verificano quando il disco non è perfettamente piano, il che capita piuttosto spesso, e se il braccio è pesante la puntina può uscire dal solco ed entrare in un altro.

Supponendo che la massa del pick-up con relativo braccio sia concentrata all'estremità, quanto precede può anche essere dimostrato mediante un calcolo assai semplice. Se per una causa qualunque il disco si solleva con una velocità v, questa velocità viene impressa alla puntina e quindi alla massa m del pick-up con relativo braccio. L'energia cinetica $\frac{1}{2}mv^2$ viene fornita dal disco e se m è grande, l'energia richiesta è grande anch'essa e può determinare un deterioramento del disco. Sia h la distanza verticale dalla posizione di partenza del disco al punto culminante raggiunto per effetto dell'urto. Nella posizione più elevata l'energia potenziale del pick-up con relativo braccio è uguale a D x h, dove D è la pressione sulla puntina. Questo prodotto deve essere superiore a $\frac{1}{2}mv^2$ altrimenti la puntina sarà in ritardo sul disco. Dunque:

$$D \times h > \tfrac{1}{2} mv^2 \quad \text{da cui} \quad \frac{D}{m} > \tfrac{1}{2}\,\frac{v^2}{h}$$

La condizione di stabilità è dunque che la pressione sulla puntina deve essere molto maggiore della massa m oppure, in altri termini, per evitare che la puntina salti e deteriori il disco (per effetto di urti o di difetti superficiali) il peso sulla puntina deve essere molto maggiore del peso del pick-up con relativo braccio. Il bilanciamento non può essere sempre evitato e quando è necessario è preferibile assicurarlo mediante una molla anzichè mediante un contrappeso che aumenta la massa. E'

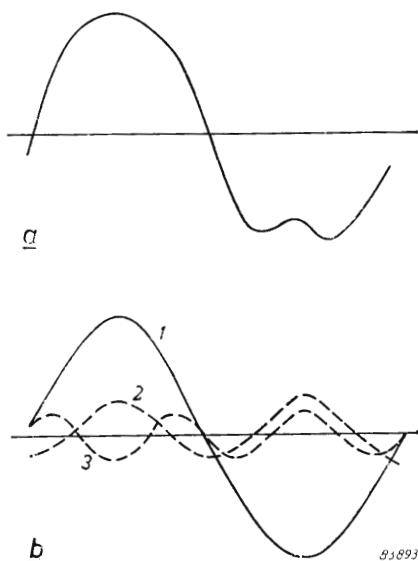



Fig. 30. a) Vibrazione deformata.
b) Fondamentale con le sue armoniche.

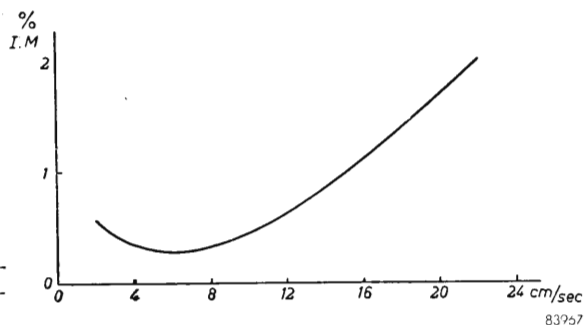



Fig. 31. Caratteristica d'intermodulazione di un pick-up magnetodinamico.

evidente che quanto detto è valido non solo per le vibrazioni verticali ma anche per quelle orizzontali.

Gli effetti descritti in questo paragrafo possono essere dimostrati molto facilmente mediante un disco deformato.

§ 8. Distorsione - Due specie

Quando in riproduzione i rapporti d'intensità fra i suoni di frequenze diverse non sono uguali ai rapporti esistenti all'origine, si parla di distorsione lineare. Quando invece si constata la presenza di suoni o rumori diversi dal ronzio (hum), dai disturbi dovuti al motore (motor rumble) e dal rumore di fondo (noise) che mancano nel suono originale ma sono dovuti a inevitabili imperfezioni tecniche dell'impianto riproduttore, si parla di distorsione non lineare. La causa di questa, chiamata comunemente **distorsione** senza altri termini, risiede nel fatto che a una tensione che diviene ad esempio due volte maggiore in un certo punto dell'impianto non corrisponde una corrente anch'essa esattamente doppia, ma un po' minore o un po' maggiore. Conseguentemente una vibrazione puramente sinusoidale (suono puro, vedi fig. 6) si deforma come indicato nella fig. 30a. A un esame più approfondito si vede che un suono così deformato è composto da un certo numero di suoni puri, ossia sinusoidali, in cui figurano la vibrazione originale e diverse altre vibrazioni di ampiezza minore e di frequenza doppia, tripla e in certi casi di ordine ancora più elevato (vedi fig. 30b). Il suono ne risulta modificato e in generale non in meglio. Quando la somma delle ampiezze di queste armoniche superiori (in realtà la radice quadrata della somma dei quadrati) raggiunge un certo valore (5-10%) rispetto alla fondamentale, la distorsione diviene nettamente percettibile.

In materia di riproduzione musicale però non si ha mai a che fare con un suono puro isolato, bensì con un insieme di vibrazioni contemporanee. In queste condizioni si verifica un nuovo fenomeno, quello della distorsione da intermodulazione. I diversi suoni si influenzano a vicenda e ne nascono nuove vibrazioni senza relazione armonica alcuna con i suoni originali e per tale motivo molto fastidiose. Le frequenze delle nuove

vibrazioni sono uguali alla somma e alla differenza delle vibrazioni originali. Dati due suoni diversi, ad esempio 100 c/s e 4000 c/s, riprodotti simultaneamente, in caso di distorsione d'intermodulazione compaiono le vibrazioni aventi le frequenze di 3900 c/s e 4100 c/s. Poichè i suoni musicali si compongono generalmente di una vibrazione fondamentale e di un gran numero di armoniche e poichè in un'orchestra c'è sempre un gran numero di strumenti che suonano simultaneamente, la distorsione d'intermodulazione influenza molto sfavorevolmente la qualità della riproduzione non appena oltrepassi un limite determinato.

La distorsione d'intermodulazione può avere origine in elementi diversi; può ad esempio nascere nel pick-up (oppure nell'amplificatore, nell'altoparlante, ecc.) ma anche nel disco, il che non semplifica le misure. Per questo scopo esistono in commercio dischi speciali sui quali sono registrati contemporaneamente due suoni, generalmente di 100 c/s e 4000 c/s, nel rapporto d'intensità di 4:1. L'intensità di queste note non è costante su tutto il disco ma è massima nella zona periferica, dove la velocità della puntina rispetto al solco è ad esempio di circa 20 cm/sec, e diminuisce progressivamente fino a zero man mano che la puntina si avvicina al centro. Queste misure verranno riprese al Capitolo VIII. Sulla fig. 31 è riportata la curva d'intermodulazione di un pick-up magnetodinamico. Per essere precisi diciamo che questa curva è quella dell'intermodulazione misurata per il disco e il pick-up insieme; la curva non ha andamento regolare e può darsi che per piccoli spostamenti della puntina la distorsione d'intermodulazione sia piuttosto elevata, per diminuire quando l'intensità del segnale aumenta; questo indica che l'equipaggio mobile del pick-up incontra ad esempio una resistenza che disturba maggiormente quando gli spostamenti della puntina sono piccoli.

Talvolta, oltre alla distorsione d'intermodulazione si considera anche quella conosciuta come distorsione da battimento, per la misura della quale s'impiegano due frequenze variabili che differiscono fra loro esattamente di 1000 c/s. Con dei buoni pick-up questa distorsione non dà fastidio, ma può darsi che lo stesso non avvenga con l'amplificatore.

§ 9. Stridìo della puntina

I rivelatori elettrici convertono anch'essi parte dei movimenti della puntina direttamente in suono. Quando il giradischi è contenuto in un mobile chiuso la cosa non disturba, ma può importunare se il giradischi è allo scoperto e soprattutto se la distanza fra l'altoparlante e il pick-up è piuttosto grande.

Allo stridìo della puntina si possono attribuire diverse altre cause. Può essere provocato ad esempio da vibrazioni che interessano il braccio o la custodia del pick-up; in certe circostanze queste vibrazioni possono raggiungere la puntina e dare luogo fra l'altro a un'usura più rapida del disco. Può dipendere anche da una cedevolezza troppo piccola della puntina o da una massa in movimento troppo grande per certe frequenze; anche in questo caso si verifica un'usura anormale del disco.

I suoni emessi dalla puntina non si possono evitare del tutto perchè la puntina in movimento e le parti ad essa solidali smuovono l'aria

e la fanno vibrare. Questa causa di stridìo evidentemente non si può eliminare e d'altronde il disco non ne risulta danneggiato.

Un'altra causa di stridìo dipende dal fatto che la puntina vibra non solo in senso orizzontale ma anche in senso verticale (vedi pag. 45). Si tenga presente a questo proposito che le vibrazioni verticali hanno frequenza doppia di quelle orizzontali e che a frequenze elevate, ampiezze di vibrazione anche piccole danno suoni intensi.

Per contenere il più possibile questi fenomeni è assai importante che la puntina di zaffiro o di diamante sia più leggera possibile; i pick-up Philips menzionati in questo libro sono muniti di puntine il cui peso è di soli 0,4 milligrammi.

CAPITOLO V

LA PUNTINA E IL DISCO

§ 1. Distorsione di non tangenzialità (tracking distorsion)

In registrazione la punta d'incisione viene traslata, mediante l'alberino di guida, dal bordo del disco verso il centro seguendo una linea retta. In riproduzione invece la puntina del pick-up non si sposta in linea retta ma secondo un arco di cerchio, perchè il braccio del pick-up ruota intorno a un punto fisso (fig. 32a). L'asse del pick-up non è quindi tangente ai solchi, tranne che nella parte centrale della registrazione, ma risulta inclinato di un certo angolo rispetto a questi e la direzione nella quale la puntina può vibrare, perpendicolarmente all'asse del pick-up, non coincide dunque più per la parte maggiore del disco con la direzione della modulazione, che è sempre perpendicolare ai solchi stessi.

Nella fig. 32b abbiamo rappresentato quello che si verifica in tali circostanze. Il tratto continuo rappresenta il solco modulato, cioè il percorso seguito dalla punta d'incisione. In riproduzione la puntina del pick-up segue lo stesso percorso ma con velocità trasversale diversa e pertanto in un certo istante viene a trovarsi nel punto 2 mentre, se il pick-up fosse nella posizione giusta, dovrebbe trovarsi nel punto 1. Nell'istante rappresentato in figura la puntina è quindi leggermente spostata verso il centro e il valore istantaneo della tensione prodotta risulta per conseguenza più basso. Si può così determinare punto per punto lo spostamento della puntina nei vari istanti e tracciare la curva tratteggiata della fig. 32b la quale mostra che l'andamento della tensione prodotta dal pick-up non è più sinusoidale. Mentre, come si vede in figura, la modulazione del solco corrisponde a un suono puro, il movimento della puntina del pick-up corrisponde a un suono distorto; più precisamente sono comparse delle armoniche di ordine pari, ossia delle vibrazioni di frequenza doppia, quadrupla, ecc. la più importante delle quali è la seconda, cioè quella la cui frequenza è doppia di quella del suono originale.

Per combattere questa distorsione ci sono diverse possibilità. Anzitutto si può fissare il pick-up su una guida parallela, in modo cioè da farlo scorrere su una barra rettilinea terminante, come l'alberino di guida della punta d'incisione, al centro del disco. Questa però non è una soluzione pratica perchè l'esecuzio-

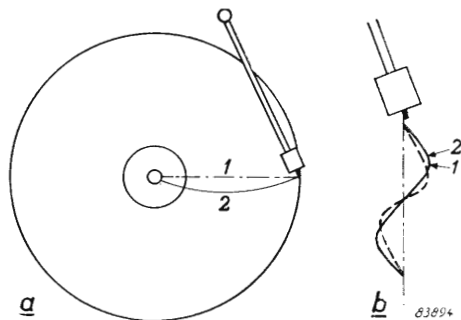



Fig. 32. La causa della distorsione di non tangenzialità.

ne ne risulterebbe costosa e complicherebbe la manovra del giradischi, per non parlare poi dei cambiadischi automatici e simili. Un'altra soluzione può essere quella di far ruotare regolarmente e automaticamente in un modo qualunque il pick-up rispetto al braccio, in modo che l'asse del pick-up risulti sempre tangente al solco. Benchè la manovra dell'apparecchio non ne venga complicata, questa soluzione non trova praticamente applicazioni per motivi di costo. Adottando un braccio molto lungo, l'arco di cerchio 2 della fig. 32a si avvicina al segmento di retta 1, ma anche in questo caso il fattore prezzo è di ostacolo particolarmente perchè, a causa della lunghezza del braccio, il mobile nel quale il grammofono viene montato risulta troppo grosso. Questi bracci lunghi si usano solo per giradischi professionali e in tale caso la maggiore lunghezza è anche motivata dal fatto che su tali giradischi si debbono poter suonare dischi da 40 cm di diametro.

Si può dimostrare col calcolo che dando al braccio una forma incurvata, la distorsione di non tangenzialità può essere considerevolmente ridotta. La cosa è illustrata nella fig. 33 dove il braccio del pick-up è rappresentato in due posizioni diverse dalle quali si vede che l'asse del pick-up è sempre all'incirca perpendicolare al raggio (linee a tratti e punti) del disco e quindi tangente al solco. La forma curva del braccio del pick-up dunque non è stata ispirata da ragioni estetiche, ma da ragioni puramente tecniche; quando la forma è ben concepita, la distorsione di non tangenzialità può essere ridotta a meno dello 0,5% anche nelle circostanze più sfavorevoli e pertanto trascurabile con tutta tranquillità.

La forma curva del braccio del pick-up ha anche un secondo compito. Il disco in rotazione esercita sul braccio del pick-up, per effetto dell'attrito fra disco e puntina, una forza avente la stessa direzione del solco, applicata all'estremità della puntina. Questa forza (la freccia piccola nella fig. 33) non ha la stessa direzione della retta che unisce la estremità della puntina col centro di rotazione del braccio del pick-up e può quindi essere scomposta in due componenti, una nella stessa direzione della retta congiungente l'estremità della puntina col centro di rotazione del braccio del pick-up e l'altra diretta verso il centro del disco. Mentre la prima agisce sull'articolazione del braccio del pick-up e viene assorbita da questa, la seconda tende a spostare il braccio verso l'interno, cosa assai utile per diverse ragioni.

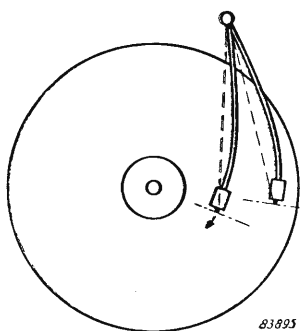



Fig. 33.
Metodo di riduzione della distorsione di non tangenzialità.

A causa dell'attrito che si produce nell'articolazione del braccio del pick-up, il pick-up appone una certa resistenza a spostarsi verso il centro del disco. La forza diretta verso il centro, citata al capoverso precedente, aiuta a vincere questo attrito; in tale modo il pick-up può seguire più facilmente il solco e la pressione esercitata sulla pun-

tina dalla parete esterna del solco, necessaria per spostare il pick-up, diminuisce. Grazie a questa forza centripeta inoltre, viene facilitato l'ingresso della puntina nel solco iniziale quando il pick-up viene appoggiato sull'orlo del disco. Infine, lo scatto di fine corsa del giradischi e il meccanismo del cambiadischi vengono spesso azionati dallo spostamento accelerato del braccio del pick-up all'arrivo della puntina nel solco finale. Per azionare questi dispositivi occorre una certa forza e quella che si esercita sul braccio del pick-up per effetto dell'attrito fra puntina e disco è assai utile a questo scopo.

Per ridurre al minimo la distorsione di non tangenzialità si dà al braccio del pick-up una lunghezza tale che quando il braccio stesso è nella sua posizione più interna, la puntina deve trovarsi in corrispondenza dell'asse di rotazione del piatto portadischi. La forza centripeta è in tali condizioni quasi costante e di valore sufficiente. I bracci dei pick-up Philips sono costruiti in modo che la forza centripeta ha un valore di 1 grammo circa.

Nel caso in cui lo scatto di fine corsa venga azionato dal movimento verso l'esterno impresso al braccio del pick-up dai dischi a solco terminale eccentrico, è necessaria una forza diretta verso l'esterno. In tale caso si può ricorrere ad alcuni accorgimenti costruttivi per ottenere una componente della forza d'attrito sulla puntina diretta verso l'esterno. Questo metodo è però meno buono per quanto riguarda la distorsione e la usura del disco.

§ 2. Distorsione di traccia (tracing distorsion) e diminuzione della larghezza del solco (pinch effect)

La fig. 34 rappresenta un tratto di solco fortemente ingrandito e precisamente visto in pianta (a) e in sezione (b e c). Come si può osservare la puntina moderna ha l'estremità arrotondata; inoltre la puntina appoggia sui fianchi del solco e non ne tocca il fondo. La mezzaria del solco è indicata nella fig. 34a da una linea a punti e tratti. Per non avere distorsione, occorrerebbe che il centro della puntina seguisse esattamente questa linea; in realtà però, a causa del fatto che la puntina del pick-up ha sezione circolare mentre la punta d'incisione ha sezione triangolare, il centro della puntina segue un percorso alquanto diverso, che può essere ricavato geometricamente tracciando a intervalli regolari dei cerchi tangenti ai bordi del solco; questo percorso è indicato nella fig. 34a da una linea a tratti.

Sono da considerare alcuni punti; la larghezza d del solco misurata perpendicolarmente alla direzione del moto è sempre costante, perchè determinata dalla larghezza della punta d'incisione che vibrando si muove sempre in direzione perpendicolare alla direzione del solco non modulato. La distanza a fra i due fianchi del solco invece non è costante ed è uguale a d solo a 90° e a 270° dove, per un percorso estremamente breve, il solco modulato è parallelo alla direzione del solco non modulato; in tutti gli altri punti a è più piccola di d e pertanto in essi la puntina si solleverà più o meno (fig. 34c). Nella riproduzione del disco, la puntina si muoverà quindi costantemente anche in direzione verticale; questo movimento verticale della puntina dovuto al restringersi del solco

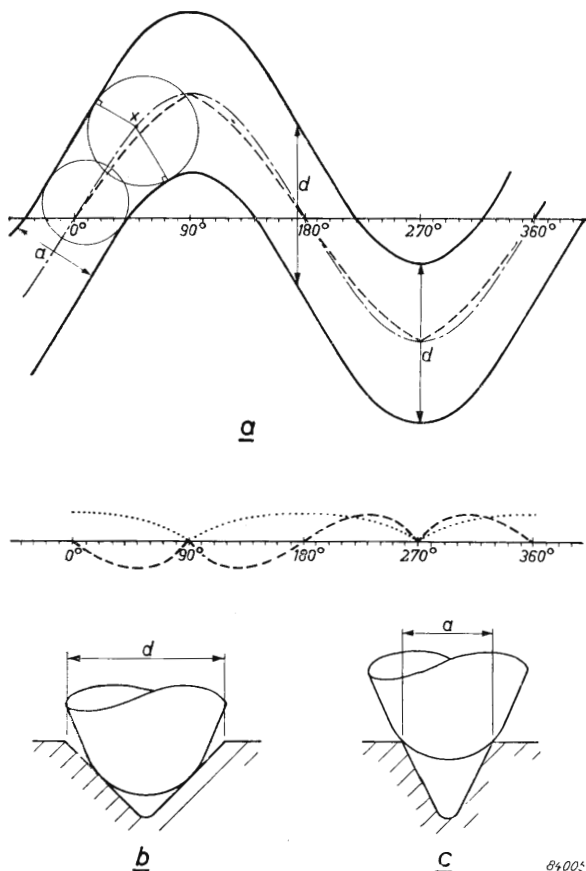



Fig. 34. Le cause del restringimento del solco e della distorsione di traccia.

pinch effect è indicato nella figura dalla linea punteggiata ed è chiaro che la frequenza del movimento verticale è doppia di quella del movimento orizzontale. E' evidente che il **pinch effect** si aggrava quando aumenta l'ampiezza della modulazione del solco e quando aumenta la frequenza (cioè per lunghezze d'onda piccole). Il **pinch effect** è quindi più marcato per i suoni alti e intensi.

Nel caso che il pick-up sia insensibile ai movimenti verticali della puntina, cioè non dia segnale elettrico per essi, il **pinch effect** non disturberà che come causa principale di stridìo della puntina; per tale motivo è utile, come abbiamo già detto in precedenza, che la massa della puntina sia più piccola possibile. Se il pick-up dà una risposta elettrica anche per i movimenti verticali della puntina, vi sarà distorsione soprattutto nei suoni intensi ed alti. Poichè la frequenza del **pinch effect** è

doppia della frequenza dei suoni registrati, saranno le armoniche di ordine pari che si sentiranno. In certe circostanze l'ampiezza degli spostamenti dovuti al **pinch effect** può raggiungere il 10% dell'ampiezza del solco, in modo che se il pick-up è sensibile in misura uguale tanto ai movimenti verticali che a quelli orizzontali della puntina, la distorsione raggiunge il 10%. Con un pick-up ben costruito si può però limitarla a meno dell'1%. Poichè i suoni più alti sono quasi sempre armoniche di suoni fondamentali di frequenze più basse e poichè solo alcune di tali armoniche hanno intensità sufficientemente elevate, con un buon pick-up non si sentirà praticamente nulla della distorsione dovuta al **pinch effect.**

Il percorso seguito dal centro della puntina è stato ricavato nella figura 34a mediante cerchi tangenti ai bordi del solco, tracciati uno dopo l'altro e i cui centri sono stati collegati fra loro. Naturalmente sono stati tracciati solo alcuni di tali cerchi e si vede chiaramente che il centro della puntina non si trova sulla mezzaria del solco ma alquanto spostato. Ciò è dovuto al fatto che la perpendicolare abbassata dal punto x al fianco superiore è più corta di quella abbassata al fianco inferiore. Lo scostamento fra la mezzaria del solco e il percorso della puntina è riportato a parte in scala maggiore ed è la rappresentazione grafica della distorsione di traccia. L'analisi mostra che questa distorsione è costituita principalmente di armoniche di ordine dispari, cioè di vibrazioni di frequenza 3, 5, 7, ecc. volte maggiore della frequenza del suono registrato. Nella distorsione compare anche la stessa frequenza del suono registrato, ma in opposizione di fase rispetto al suono stesso e quindi ne determina una certa attenuazione. Considerando la figura, nella quale per maggiore chiarezza sono state esagerate le proporzioni, risulta evidente che la distorsione di traccia cresce col diminuire della lunghezza d'onda e con l'aumentare dell'ampiezza della vibrazione registra-

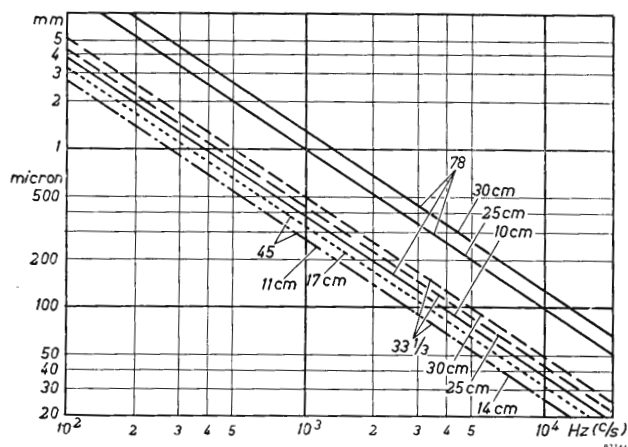



Fig. 35. Relazione fra la lunghezza di onda e la frequenza nei dischi a 33⅓, 45 e 78 giri al min.

ta. Risulta anche chiaro che la distorsione diminuisce se il solco è più stretto e se la puntina è più aguzza.

La lunghezza d'onda di una vibrazione sonora è uguale alla velocità di propagazione divisa per la frequenza. Quando la vibrazione viene registrata su un disco, la velocità di propagazione viene sostituita dalla velocità di scorrimento del solco, cioè dal numero di metri o di centimetri di solco che scorrono in un secondo sotto la puntina. Questa quantità non è costante; per il primo solco di un disco da 30 cm, 33⅓ giri al minuto, essa è uguale a 52 cm/sec e per l'ultimo solco a circa 23 cm/sec; per un disco da 30 cm, 78 giri al minuto, queste velocità sono rispettivamente 120 e 40 cm/sec. Ciò significa dunque che su un disco la lunghezza d'onda di un suono determinato non è costante; per un La 3 essa è uguale rispettivamente a 1,2 - 0,5 - 2,7 - 1,1 millimetri nei quattro casi di cui sopra e ancora diversa in altri punti del disco o per altre velocità (vedi fig. 35). Se tutto questo viene riportato in scala, oppure se si calcola la distorsione di traccia si trova che questa assume valori di una certa entità solo a lunghezze d'onda molto minori di 0,5 mm, cioè a frequenze molto maggiori di 440 c/s. Poichè nei dischi a 33⅓ giri al minuto le lunghezze d'onda sono minori che nei dischi a 78 giri al minuto, occorre impiegare nei primi un solco più stretto e una puntina più aguzza perchè la distorsione resti la stessa; questo è il motivo per cui l'estremità della puntina per il solco standard ha in generale un raggio di 75 micron e quella della puntina per il microsolco un raggio di 25 micron. I dischi a solco standard con profilo a V possono essere suonati, prescindendo dal rumore di fondo e dall'usura, anche con una puntina per microsolco e in questo caso la distorsione di traccia è in effetti minore nei **fortissimo** di quanto non lo sia con puntina normale.

Quanto sopra detto fornisce anche una spiegazione del fatto ben noto che la qualità della riproduzione nella zona periferica del disco è migliore che al centro, dove i **fortissimo** tendono ad essere distorti e la riproduzione delle note alte risulta alquanto attenuata. I compositori di musica per registrazioni grammofoniche dovrebbero tenere conto di questo, ma purtroppo, analogamente agli arrangiatori di musica leggera, perdono assai spesso di vista il fenomeno. La frequenza limite al di là della quale la distorsione di traccia può diventare sensibile alle intensità elevate si trova all'incirca sui 2000 c/s e se la caratteristica di registrazione della fig. 25 fosse adottata anche per i dischi microsolco, la distorsione raggiungerebbe facilmente il 20-30% alle frequenze più elevate. Ora, benchè la terza armonica ad es. di 10000 c/s sia fuori della gamma dei suoni udibili, può però dare luogo, per intermodulazione con armoniche di altri suoni, a una distorsione nettamente udibile e molto fastidiosa.

§ 3. La moderna caratteristica di registrazione

Per stabilire una caratteristica di registrazione occorre tenere conto dei fattori seguenti:

1. L'intensità minima deve avere un valore sufficiente per non essere cocoperta dal rumore di fondo.

2. L'intensità **massima** non deve superare un certo valore per evitare che due solchi vicini si accavallino; essa è dunque funzione della larghezza del solco e della distanza fra due solchi contigui.
3. La distorsione di traccia deve essere bassa.
4. La dinamica della musica originale deve essere per quanto possibile conservata.

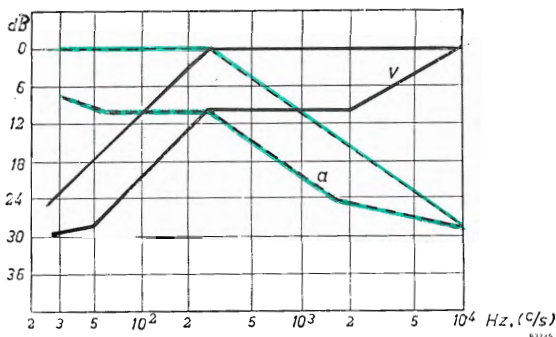



Fig. 36. La forma fondamentale della moderna caratteristica di registrazione.

5. Deve esser data la dovuta considerazione alle intensità massime dei diversi suoni presenti nella musica.

La combinazione di queste esigenze ha condotto a caratteristiche di registrazione molto diverse da quella della fig. 25.

La condizione, che stabilisce che le ampiezze minime debbano essere sufficientemente grandi per non risultare coperte dal rumore di fondo e dagli altri rumori secondari del disco, interessa di più alle frequenze elevate, perchè è precisamente a queste frequenze, che per un'intensità sonora determinata, le ampiezze sono minori benchè la velocità di vibrazione della puntina e delle particelle d'aria sia uguale che alle frequenze più basse. Il rumore di fondo è causato da granuli esistenti nel materiale di cui è costituito il disco e da irregolarità superficiali del solco. L'ampiezza delle vibrazioni sonore incise deve essere sufficientemente grande rispetto alle dimensioni di queste irregolarità.

In linea di principio è possibile abbassare alquanto tutta la caratteristica di registrazione, ad eccezione delle frequenze più elevate. Ad esempio mantenendo immutato il livello a 10000 c/s, si può abbassare di 10 dB la caratteristica al disotto di 2000 c/s e fra 10000 c/s e 2000 c/s abbassarla progressivamente come indicato in fig. 36. Naturalmente questi provvedimenti comportano diverse conseguenze nella riproduzione. Quando ad esempio si suona un disco registrato in tal modo su un grammofono previsto per dischi conformi alla linea a tratto sottile della fig. 36, si deve aumentare il volume per avere un'intensità sufficiente alle frequenze inferiori a 2000 c/s e mettere il regolatore di tono nella posizione « grave » per compensare l'eccesso di alti (se l'amplificatore o l'altoparlante riproducono gli alti con una certa attenuazione, il tono risulterà ben equilibrato senza manovrare i comandi, ma occorrerà manovrarli per i dischi conformi alla vecchia caratteristica). Si è raggiunto in tal modo il duplice risultato di mantenere il rapporto fra la musica e il rumore di fondo praticamente costante e il migliore possibile in tutta la gamma di fre-

quenze registrate e in pari tempo di diminuire la distorsione di traccia per le frequenze inferiori a 10000 c/s.

Le maggiori alterazioni della dinamica e il rischio più serio di uscire dal solco durante i **fortissimo** si hanno alle frequenze più basse. Modificando la caratteristica di registrazione come sopra detto, si è guadagnato più spazio per queste frequenze, migliorando così la qualità dei **fortissimo** e senza alterare la dinamica. In questo modo, più o meno, sono state sviluppate le caratteristiche di registrazione moderne; per maggiori dettagli vedere il paragrafo 4. Le caratteristiche reali non presentano angoli vivi come in fig. 36; i raccordi sono costituiti da tratti curvi. Ciò nonostante la figura dà l'andamento generale di tutte le caratteristiche di registrazione moderne. Un vantaggio ulteriore che si è ottenuto in tal modo è che le frequenze più basse, al disotto di 70 c/s, possono essere registrate anche con intensità relativamente più elevate, in modo che i bassi sono così meglio messi in valore.

Fino ad ora abbiamo considerato solamente suoni di differenti altezze ma di uguali intensità. Misure eseguite in sale da concerto hanno mostrato che le intensità sonore massime che si riscontrano (cioè le massime ampiezze delle particelle d'aria in vibrazione) sono approssimativamente uguali per tutte le frequenze fino a 2000 c/s. Al di sopra dei 2000 c/s, l'intensità sonora massima che si può incontrare decresce col crescere della frequenza e precisamente decresce di 6 dB per ottava. Ciò significa dunque che per le frequenze più alte, l'ampiezza che abbiamo considerato come ampiezza massima, non si presenterà probabilmente mai, in modo che la distorsione di traccia è molto minore di quanto risulti da considerazioni puramente teoriche. Occorre però tener presente che nella registrazione dei dischi si aumenta appositamente il livello di alcuni strumenti a tonalità acuta e pertanto la distorsione non è sempre così bassa; comunque il risultato finale è tale che con un disco ben registrato la distorsione di traccia non è percettibile.

Come abbiamo già spiegato precedentemente (pag. 37), per gli spostamenti della puntina sono necessarie forze di una certa entità. Nel caso della fig. 34 si è supposto che il solco fosse assolutamente rigido, il che in pratica non è esatto, soprattutto per i dischi microsolco. A causa delle proprietà elastiche del vinile, il solco si deforma alquanto sotto l'azione della puntina, specialmente alle note molto alte e di forte intensità. Ne consegue che l'attenuazione delle frequenze più elevate è maggiore di quanto non risulti dalla teoria della distorsione di traccia e la distorsione non lineare alquanto minore, il che è naturalmente assai opportuno perchè l'attenuazione supplementare può essere in gran parte compensata nell'amplificatore. Poichè il fenomeno si manifesta soprattutto al di sopra di 10000 c/s, queste frequenze, che hanno anch'esse la loro importanza nella fedele riproduzione della musica, potranno essere registrate e riprodotte con una distorsione sufficientemente bassa da risultare al disotto del minimo percettibile. Ciò non vuol dire che su tutti i dischi i suoni più alti saranno esenti da distorsione, ma solo che una riproduzione esente da distorsione è teoricamente e praticamente possibile.

§ 4. Caratteristiche di registrazione e di riproduzione.

Da quanto è stato detto nel paragrafo precedente risulta che la caratteristica di registrazione « ideale » non può essere stabilità esattamente col solo calcolo, ma che intervengono elementi di esperienza pratica nella scelta della forma e che le vedute e le concezioni di coloro che la determinano hanno anch'esse la loro influenza. Pertanto anche se tutte le caratteristiche di registrazione moderne seguono più o meno l'andamento rappresentato nella fig. 36, esistono delle differenze fra le caratteristiche delle diverse Marche. Per avere dunque in ogni circostanza un buon equilibrio dei toni è necessario agire regolarmente sul controllo di tono dell'amplificatore grammofonico; anche così però può accadere che certe differenze non si compensino del tutto. D'altra parte la caratteristica di registrazione è una nozione alquanto teorica, fatta eccezione per i dischi di misura. Tali dischi vengono registrati applicando all'amplificatore di registrazione un suono puro (tensione sinusoidale) d'intensità costante ma di frequenza variabile. Conoscendo le proprietà dell'amplificatore di registrazione e della testina d'incisione si può infatti incidere un disco con una caratteristica determinata e anche controllarla.

I microfoni usati nelle registrazioni musicali hanno curve di responso non facili da determinare; inoltre anche l'acustica della sala dove viene

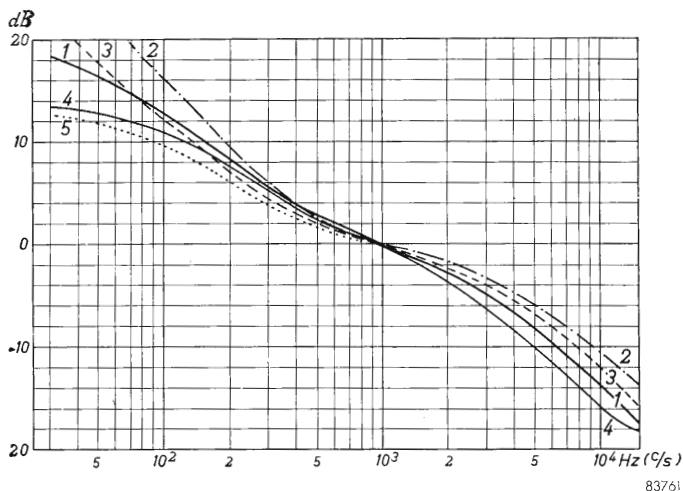



Fig. 37. Le principali caratteristiche di riproduzione Vedi anche la tabella dopo la fig. 38.

C.E.I. 1—1
A.E.S. 3—3
F.F.R.R. 4—2
N.A.B. 4—4

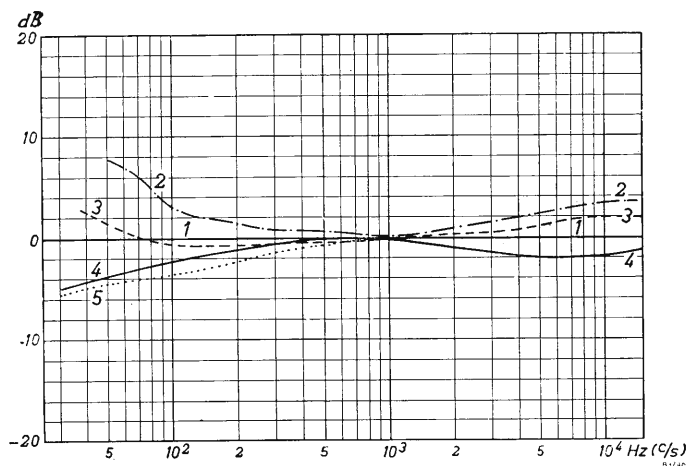



Fig. 38. Correzioni da portare alla riproduzione delle diverse marche di dischi se l'amplificatore impiegato è conforme alla caratteristica C.E.I.

Marca	*Bassi*	*Alti*	*Marca*	*Bassi*	*Alti*
*Capitol *)*	3	3	*Nixa VLP e CLP*	3	3
Capitol (Germania)	3	2	*WLP ed NLP*	4	3
*Columbia *)*	4	4	*Omega*	5	3
*Concert Hall *)*	3	3	*Pathé-Marconi*	1	1
*Decca (USA) *)*	4	4	*Philips *)*	3	3
Decca FFRR	4	2	*Polydor *)*	5	2
Decca (Germania)	3	2	*Remington *)*	1	4
*D.G.G. *)*	5	2	*R.C.A. (nuova)*	1	1
La voce del padrone	1	1	*R.C.A. (vecchia)*	2	1
*London FFRR *)*	4	2	*Telefunken*	3	2
M.G.M.	1	1	*Urania*	1	4
Nixa, la maggior parte dei dischi	4	4	*Westminster*	1	4

Le marche seguite da un asterisco hanno già adottato la caratteristica C.E.I. per le nuove registrazioni o hanno annunciato di farlo entro breve tempo.

effettuata la registrazione ha una grande influenza sul risultato finale. In una sala con pavimento in legno, anche piuttosto sottile, i toni bassi risultano più marcati che in una sala con pavimento cementizio; se le pareti della sala sono tappezzate di tessuto, i toni alti risultano attenuati. Ogni sala ha proprietà acustiche particolari che non si possono ricondurre a un'acustica standard per mezzo di un controllo di tono; per tale motivo la nozione di caratteristica di registrazione presenta alcuni

elementi di indeterminatezza, perchè a seconda che si piazzerà ad esmpio l'impianto di registrazione nell'auditorio grande o in quello piccolo del « Concertgebouw » di Amsterdam, il suono dello stesso violino o dello stesso violoncello uscirà diverso dall'altoparlante.

Da qualche anno i fabbricanti di dischi preferiscono attenersi ad una caratteristica di riproduzione normalizzata. In linea di principio la caratteristica di riproduzione è l'immagine speculare inversa della caratteristica di registrazione; se cioè dalla caratteristica di registrazione risulta che un suono, ad esempio di 10000 c/s, è registrato con un'intensità di 10 dB superiore a quella di un suono di 1000 c/s, in riproduzione il primo deve essere attenuato rispetto al secondo di 10 dB. Il che significa che nell'incisione del disco i controlli di tono dell'amplificatore di registrazione sono regolati in modo che se il disco viene poi suonato su un grammofono conforme alla caratteristica di riproduzione normalizzata, la riproduzione ha il giusto equilibrio dei toni.

Si è così pervenuti a fare in modo che i dischi suonino tutti ugualmente bene, senza che alcuni suoni risultino smorzati e altri troppo squillanti, senza essere costretti ad effettuare tutte le registrazioni nella stessa sala e con la stessa disposizione di microfoni. La sala e la disposizione dei microfoni possono così essere adattati allo spartito musicale e si può ancora far risaltare il particolare carattere acustico di una sala o di uno studio senza correre il rischio che certi dischi abbiano un equilibrio sonoro inaccettabile. Diverse cause, come la componente lineare della distorsione di traccia e il fatto che i dischi non sono rigorosamente rigidi, fanno sì che la caratteristica di riproduzione non abbia tratti rettilinei. L'entità delle deformazioni dipende anche dalle proprietà del pick-up (dimensioni della puntina, massa in movimento); poichè inoltre l'altoparlante del grammofono riproduttore nonchè le proprietà acustiche del locale dove viene effettuato l'ascolto hanno anch'essi la loro influenza, è difficile eliminare ogni differenza fra i dischi delle diverse Marche anche se è stata adottata un'unica caratteristica elettrica di riproduzione; tali differenze sono però minori di quelle che ci sarebbero se ogni Marca seguisse la sua caratteristica d'incisione. Infine si è raggiunto un maggior grado di uniformità nell'equilibrio dei toni per i dischi della stessa Marca.

Purtroppo non è ancora arrivata l'epoca in cui tutti i dischi che vengono venduti rispondano alla stessa caratteristica di riproduzione; infatti considerando le migliaia di dischi già in catalogo incisi in passato con caratteristiche di registrazione diverse, occorreranno degli anni prima che l'uniformità divenga realtà, perchè è vano sperare che le Case rifacciano le registrazioni effettuate prima che venisse scelta una norma generale. Per tale motivo nella fig. 37 sono state riunite alcune delle più importanti caratteristiche di riproduzione, ivi compresa quella normalizzata (C.E.I.). Occorre altresì notare che dati i complessi accordi internazionali che esistono nel mondo del disco, è anche possibile che alcuni dischi che portano l'etichetta della Marca X siano stati registrati dalla Marca Y in base alla propria caratteristica, in modo che non sempre ci si potrà fidare delle caratteristiche pubblicate. E' l'orecchio che in ultima istanza deve decidere, come sempre nella riproduzione dei suoni.

Le caratteristiche sono riportate ancora nella fig. 38, ma questa volta riferite alla caratteristica C.E.I. che prevediamo essere la norma anche per l'avvenire. La fig. 38 indica dunque quali sono le correzioni di tono necessarie nel caso in cui l'impianto riproduttore impiegato presenti, col regolatore di tono in posizione neutra, la caratteristica di riproduzione C.E.I. (Comitato Elettrotecnico Internazionale). Dato che tutte le caratteristiche hanno la frequenza d'incrocio a 1000 c/s, intorno alla quale le caratteristiche stesse sono con buona approssimazione rettilinee, le differenze che esistono fra loro potranno essere compensate nella maggior parte dei casi da un buon controllo di tono al punto che le differenze che eventualmente sussisteranno non influenzeranno più praticamente la qualità della riproduzione. In tal modo si può dire che esista già un certo grado di normalizzazione, il che, per l'amatore di dischi, riveste una grande importanza.

CAPITOLO VI

LA BUONA CONSERVAZIONE DELLE PUNTINE E DEI DISCHI

§ 1. La puntina grammofonica

Nella fig. 45 abbiamo visto, dalla sezione del solco che vi è rappresentata, che la puntina non appoggia sul fondo ma sui fianchi del solco. Benchè l'impiego di una puntina aguzza riduca la distorsione di traccia, la puntina non può esserlo troppo perchè in tale caso si determinerebbe un'usura troppo rapida del disco e della puntina stessa. Inoltre, quando la puntina appoggia sul fondo del solco e non è più sorretta dai fianchi può essere soggetta a movimenti laterali arbitrari, causa di distorsione e di rumore di fondo supplementare. Infine il fondo del solco non è mai perfettamente regolare e si sporca piuttosto rapidamente e anche questo è pregiudizievole per la buona qualità della riproduzione.

Il fondo del moderno microsolco, e del solco di alcuni dischi normali, ha un raggio di 5 micron; per l'estremità della puntina è dunque teoricamente sufficiente un raggio di curvatura di 10 micron; la pratica ha però dimostrato che tenendo conto dell'usura e di alterazioni della forma del solco, il valore più favorevole per il raggio di curvatura della estremità delle puntine destinate al microsolco è di 25 micron. Per i dischi a solco normale occorre una puntina molto più ottusa per ridurne l'usura sulla gomma lacca, che è più ruvida del vinile, e perchè il solco a V (solco normale con un fondo di 5 micron di raggio) non è ancora stato adottato su tutti i dischi a 78 giri al minuto. Una puntina di 55 micron di raggio si dimostra ancora troppo piccola per certi dischi di gomma lacca e 75 micron è un valore più sicuro e anche il più usato.

Le puntine di acciaio non sono più impiegate nei pick-up moderni; esse avevano un'estremità molto aguzza che il disco consumava rapidamente per far loro prendere la forma del solco. Questo poteva andare bene con pick-up pesanti e dischi di gomma lacca, ma con i moderni pick-up leggeri occorrerebbe troppo tempo alla puntina per prendere la forma e per conseguenza il disco ne soffrirebbe troppo. La situazione è ancora più grave per i dischi di vinile, sui quali una puntina di acciaio sarebbe nefasta.

Le sostanze attualmente impiegate per le puntine sono il metallo duro, lo zaffiro e il diamante. La forma è la stessa: un corpo cilindrico terminante con una punta conica avente un angolo di 45 gradi (l'angolo di apertura del solco è all'incirca di 90 gradi). La durata delle puntine può essere assai diversa e le cifre che si trovano a questo riguardo nella letteratura professionale rivelano notevoli differenze.

I fattori che influiscono sulla durata di una puntina sono principalmente:

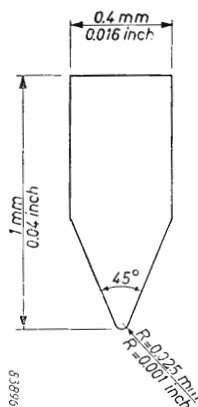
il materiale costituente i dischi,
lo stato di conservazione dei dischi (nuovi, vecchi, puliti, sporchi),

la pressione sulla puntina,
le caratteristiche del pick-up (cedevolezza, massa in movimento, risonanza),
la forma e la massa del braccio del pick-up,
l'attrito dell'articolazione del braccio del pick-up,
la consistenza numerica e la natura della collezione di dischi.

Fig. 39. Puntina per microsolco.

Perchè ci si possa fare un'idea della durata di un determinato tipo di puntina, occorre dunque che i fattori di cui sopra restino invariati il più a lungo possibile. Ad esempio, un disco stampato da poche ore consuma la puntina meno di un esemplare che abbia un mese o più. Un pick-up con grande massa in movimento consuma la puntina più di un pick-up con massa piccola; poichè una parte non trascurabile della massa in movimento è costituita dalla puntina, anche le dimensioni stesse della puntina influiranno sulla sua usura. Le puntine che tratteremo da ora in avanti hanno le dimensioni riportate nella figura 39, che sono quelle adottate nei pick-up Philips. Per quanto ci risulta sono fra le più piccole puntine impiegate.

Le esperienze relative alle puntine per microsolco sono state effettuate dalla Philips impiegando un pick-up tipo AG 3013 montato in un cambiadischi Philips tipo AG 1000, pressione sulla puntina sempre 11 grammi. I dischi usati sono stati tutti delle registrazioni orchestrali, nuovi e fabbricati da almeno un mese; le esperienze sono state effettuate in un ambiente polveroso come un normale locale di abitazione e in presenza di polveri aventi approssimativamente la stessa composizione di quella di una stanza di soggiorno.

La fig. 40 mostra la storia di una puntina di zaffiro per microsolco impiegata per 225 ore su una faccia di un disco microsolco da 25 cm. Dopo le prime 25 ore di impiego, il microscopio rivela già tracce di usura, ma così debole che in fotografia si vede appena. Se la puntina è montata su un'apparecchiatura ad alta fedeltà, un ascoltatore esercitato riesce a percepire un lieve peggioramento della qualità della riproduzione, specialmente alla fine del disco, dove le lunghezze d'onda risultano minori. Per la maggior parte dei grammofoni però, le conseguenze del logorio della puntina divengono percettibili solo quando l'usura raggiunge lo stadio della fig. 40b e talvolta, se è impiegato un pick-up avente la caratteristica 3b della fig. 28, non si nota un gran che e la distorsione non diviene evidente che quando il logorio raggiunge lo stadio rappresentato nella fig. 40c. Poichè la distorsione cresce gradualmente, può anche darsi che l'ascoltare vi si abitui e usi la puntina anche quando questa ha raggiunto uno stadio di usura come rappresentato nelle figure 40d ed e. Tale puntina è però dannosa per il disco.

Nella fig. 41 abbiamo disegnato la posizione nel solco di una puntina consumata; in a la puntina è vista di fronte, poichè scende troppo nel solco l'estremità rischia di toccare le asperità del fondo. In b la puntina è vista di sopra, in 3 posizioni diverse. Le facce prodotte dal logo-

rio presentano degli spigoli vivi che agiscono come scalpelli sui fianchi del solco e provocano danni gravi, soprattutto dove sono registrati suoni intensi (2 e 3 nella fig. 41b). La fig. 42 mostra gli effetti prodotti dalla puntina della fig. 40e; si vede in alto la microfotografia di un disco nuovo e in basso come si presenta una parte dello stesso disco dopo essere stato suonato due volte con una puntina molto consumata. E' dunque assai opportuno non usare una puntina troppo a lungo.

E' difficile dire quanto tempo può durare una puntina di zaffiro. Da esperienze effettuate su vasta scala risulta che il disco non viene molto danneggiato finchè la puntina non raggiunge lo stato della fig. 40c, ma che a questo momento la sostituzione diviene necessaria. Esaminando la fig. 40 si vede chiaramente che man mano che cresce la durata di servizio della puntina, l'usura aumenta sempre più rapidamente. Ciò si può spiegare col fatto che la polvere abrasiva proveniente dall'usura dello zaffiro resta sul disco e contribuisce ad accelerare il logorio. La puntina della fig. 40c è stata usata per 125 ore su una sola faccia di un disco e tutto il materiale asportato dalla puntina si è concentrato in tal modo su tale faccia. Ripetendo l'esperienza con 5 dischi (10 facce), lo stadio 40c è stato raggiunto dopo 160 ore circa. Le condizioni però nelle quali si è svolta l'esperienza sono state più favorevoli delle circostanze normali d'impiego, in cui un apparecchio è soggetto a scosse ed urti, in modo che per la puntina considerata 125 ore è un valore più sicuro. E' appunto perchè la velocità dell'usura cresce con l'uso che occorre fare attenzione a non sostituire la puntina troppo tardi. Inoltre, ripetendo le esperienze nelle vicinanze di una fabbri-

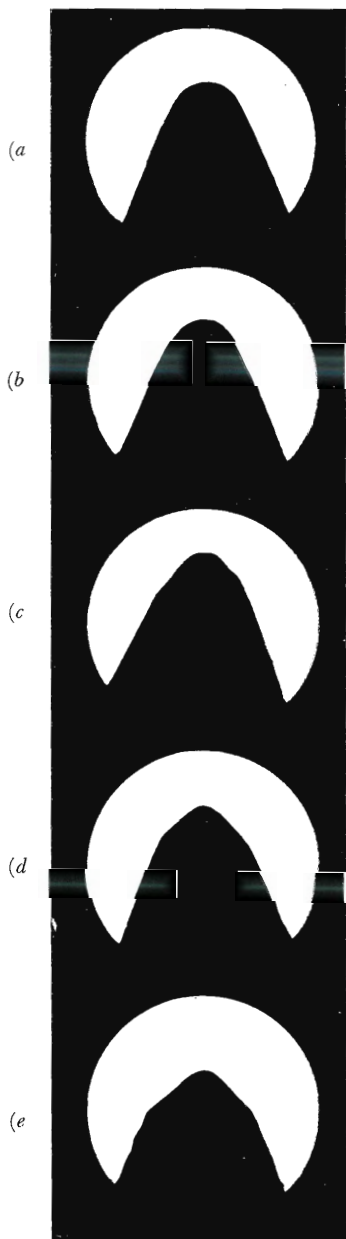
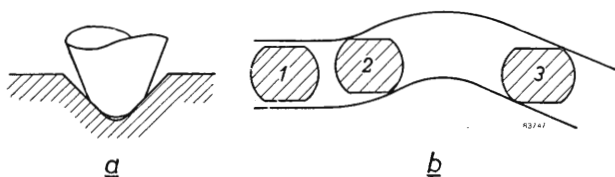



Fig. 40. Puntina di zaffiro per microsolco: nuova e dopo 75, 125, 175 e 225 ore.

Fig. 41.
Come una puntina logorata rovina il solco.

ca dove l'atmosfera conteneva in sospensione polveri piuttosto abrasive, si è constatato che l'usura era raddoppiata. Ciò mostra l'importanza di ben preservare i dischi dalle polveri abrasive.

In diversi libri e riviste si possono trovare dati relativi al logorio molto meno ottimistici a proposito delle durate sopra menzionate. La cosa si può in parte spiegare col fatto che si sarebbero usati zaffiri meno accuratamente selezionati e meno ben lavorati. In certi casi l'usura può così essere tre volte più rapida (lo stato della fig. 40c può essere raggiunto dopo 40 ore) e pertanto la qualità della puntina di zaffiro ha una importanza che non va sottovalutata.

I pick-up a bassa cedevolezza e a grande massa in movimento aumentano l'usura della puntina; analogamente l'usura aumenta quando la pressione sulla puntina è troppo elevata e, sebbene possa sembrare strano, anche quando è troppo piccola. Quest'ultima osservazione è un avvertimento per gli amatori di dischi che hanno un debole per una pressione sulla puntina estremamente bassa; in tali circostanze oltre al rischio di oscillazioni spurie e di distorsione nei passaggi forti, la puntina e il disco possono anche logorarsi più rapidamente. L'influenza del materiale costituente i dischi è anch'essa considerevole; il vinile puro dà il minimo di usura della puntina e un colorante come il nerofumo esercita poca influenza. Però alcuni impasti per dischi microsolco, nei quali oltre al vinile entra una certa quantità di altre sostanze allo scopo di ridurre il prezzo, possono avere proprietà sfavorevoli. In un caso, senza dubbio estremo, si è constatato che l'usura della puntina era cinque volte più rapida.

A proposito di storie allarmanti di puntine consumate in 10 ore di servizio, facciamo rilevare, per calmare le inquietudini, che quando la puntina corre sempre nello stesso solco (ad esempio sempre nel solco finale del disco), l'usura aumenta in modo notevole per le ragioni già esposte. Se prove pratiche di logorio effettuate su un disco comportante un solo solco circolare rivelano un'usura particolarmente rapida, tali prove non hanno alcun valore.

Poichè il possessore di un grammofono elettrico può difficilmente giudicare le circostanze suddette e poichè di solito conosce solo approssimativamente quante ore ha lavorato la sua puntina, si è cercato in diversi modi di stabilire un metodo di controllo delle puntine. La migliore cosa è usare un microscopio con un ingrandimento compreso fra 80 e 200. Con un ingrandimento minore l'usura viene messa in evidenza solo in uno stadio troppo avanzato; con un ingrandimento maggiore gran parte della puntina esce dal campo visivo e molti segni di usura posso-

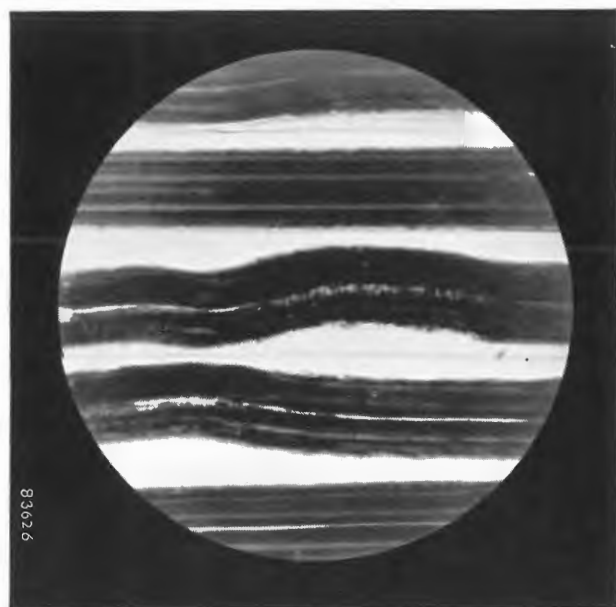
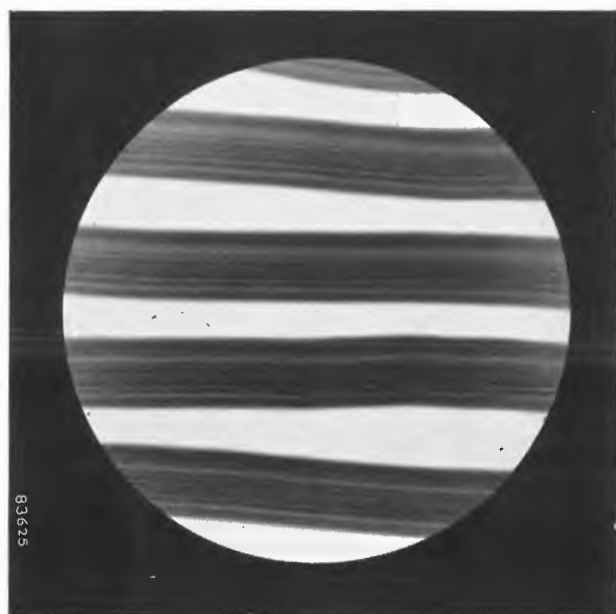



Fig. 42. Microfotografie: a) di un disco nuovo; b) di un disco suonato con una puntina consumata.

no passare inosservati. E' preferibile esaminare la puntina nel senso delle superfici di logorio (come in fig. 40) perchè osservandola perpendicolarmente a queste l'usura non è ben percettibile, a chi non è pratico, che in uno stadio più avanzato. La fig. 43 mostra un microscopio per controllo di puntine, in cui il pick-up viene posto su un supporto in modo che la puntina risulti automaticamente a fuoco.

Fig. 43.
Microscopio per il controllo delle puntine.

Un altro metodo seguito negli Stati Uniti consiste nel prendere l'impronta dell'estremità della puntina su un foglio di metallo molto sottile e nell'inviare questa impronta per un esame microscopico in un laboratorio centrale, il quale fa un rapporto sullo stato della puntina stessa. Questo metodo dà garanzia solo se l'usura è già abbastanza avanzata. Un terzo metodo ricorre all'impiego di un piccolo disco speciale di materiale assai tenero; una puntina consumata danneggerà il solco in modo visibile. Questo metodo presenta l'inconveniente che se il materiale del disco è tanto tenero che una puntina non troppo consumata vi produce un effetto visibile, una puntina nuova non ne produrrà molto meno e se si prende un materiale più duro, solo le puntine assai malandate, che cioè hanno già cominciato da tempo a danneggiare i dischi, lasceranno una traccia evidente.

§ 2. Metallo duro, zaffiro e diamante

Il materiale più usato attualmente è lo zaffiro. Come abbiamo detto al paragrafo precedente ci sono, fra le puntine di zaffiro di diversa fabbricazione, notevoli differenze di qualità che trovano la loro causa nella competenza e nella capacità del fabbricante e in una certa misura nelle diversità della materia prima.

Lo zaffiro è la varietà trasparente del corindone cristallino e si trova in natura, ma è anche fabbricato sinteticamente mediante fusione sotto alta pressione di ossido di alluminio. Lo zaffiro naturale ha una colorazione azzurra dovuta alla presenza d'impurità; lo zaffiro sintetico è quasi incolore. Entrambi possono essere usati per le puntine per pick-up ma i più adatti allo scopo sono gli zaffiri sintetici per la loro maggiore omogeneità. Lo zaffiro è la sostanza più dura dopo il diamante e si presta assai bene ad essere lavorato. Avendo un basso peso specifico, la massa della puntina di zaffiro è estremamente piccola, il che è un vantaggio notevole per lo stridìo della puntina e per l'usura della puntina stessa e del disco. Il rubino è un'altra varietà di corindone trasparente, di colore rosso anzichè azzurro, ma è usato di rado per le puntine per pick-up.

L'osmio è un elemento metallico duro che, come il cobalto e il carburo di titanio, entra nelle leghe per le puntine per pick-up. E' una delle sostanze più pesanti che esistano; la sua densità è circa il doppio di quella del piombo e circa 8 volte quella dello zaffiro. Generalmente non tutta la puntina è in lega di osmio ma solo la sua estremità; questa è inserita in un corpo di metallo più leggero e più facile da lavorare. Una buona puntina di osmio si consuma circa 4 volte più rapidamente di una buona puntina di zaffiro, cioè un po' più rapidamente di una puntina di zaffiro di cattiva qualità, e pertanto va sostituita dopo circa 30 ore per evitare che le facce piane che si sono formate per usura deteriorino gravemente il disco. L'osmio è indubbiamente meno duro dello zaffiro, ma lo è molto di più del materiale che costituisce il disco e una puntina di osmio consumata danneggia il disco esattamente come ogni altra puntina che si trovi nello stesso stato di usura. Come vantaggio dell'osmio alcuni citano la proprietà che esso presenta di non scheggiarsi per effetto di un trattamento troppo rude. Secondo lo scrivente questo vantaggio è più teorico che pratico perchè per una puntina di zaffiro o di diamante ben tagliata, il rischio di perdere delle schegge per effetto di un trattamento poco riguardoso è molto ridotto. Altre puntine metalliche, ad esempio quelle di carburo di tungsteno, danno più o meno gli stessi risultati di quelle di osmio.

Poichè il diamante è la sostanza più dura che esista, le puntine fatte di diamante hanno una vita particolarmente lunga. Il prezzo elevato di queste puntine è dovuto non solo all'alto costo della materia prima, ma anche alle spese di lavorazione. Mentre una puntina di zaffiro può essere portata alla forma voluta in un tempo relativamente breve, per mezzo di polvere di diamante che è molto più dura dello zaffiro, la lavorazione della puntina di diamante richiede un tempo venti volte maggiore. Per quanto riguarda il diamante sintetico, ci limiteremo a dire che esso è stato ottenuto in laboratorio, ma che non è di alcun valore pratico.

Le puntine di diamante possono essere ricavate o da piccole schegge di diamante o da diamanti interi. Le puntine dei pick-up Philips sono ricavate da diamanti interi; in tal modo l'usura risulta omogenea e non si determina di preferenza da una sola parte. Prove effettuate hanno mostrato che la puntina di diamante si consuma all'incirca 10 volte

più lentamente della puntina di zaffiro; ciò significa dunque che il periodo durante il quale la musica viene riprodotta senza alcuna distorsione è dell'ordine di 250 ore. Come vedremo ancora nel paragrafo seguente, in pratica la differenza è ancora maggiore perchè con la puntina di diamante anche l'usura dei dischi è minore, fra l'altro perchè la puntina di diamante conserva più a lungo la sua forma iniziale e lascia meno polvere nel solco.

Le puntine di acciaio, di legno, di bambù e di cactus non hanno più attualmente alcuna pratica applicazione. La durata di queste puntine è minore del tempo occorrente alla riproduzione di una faccia di disco long playing, in modo che occorrerebbe cambiarle o temperarle nel corso della esecuzione. Inoltre le puntine dei pick-up moderni sono così piccole che la loro sostituzione frequente sarebbe troppo fastidiosa. Quelle puntine hanno svolto una funzione importante all'epoca in cui la pressione sulla puntina si aggirava sui 50 grammi o più; con tale valore di pressione infatti lo zaffiro e il diamante non possono essere usati. Con le attuali ridotte pressioni sulla puntina, l'usura dei dischi è già così piccola che l'impiego di puntine assai tenere di cactus non apporta un sensibile miglioramento a questo riguardo e dà per contro una riproduzione molto più debole degli alti.

Fino ad ora abbiamo trattato unicamente puntine per microsolco. Per le puntine per solco normale, a estremità più ottusa, si è portati a ritenere che l'usura sia relativamente più lenta, perchè la pressione sulla puntina è ripartita su una superficie maggiore. In realtà non è così perchè la pasta a base di gomma lacca di cui sono fatti i dischi a 78 giri al minuto ha un'azione abrasiva maggiore del materiale che costituisce i dischi microsolco. Pertanto tutte le cifre menzionate sopra possono servire tali e quali per le puntine per solco normale.

Un'altra questione importante è di sapere cosa avviene quando dei dischi suonati prima con puntine di acciaio vengono suonati poi con puntine di zaffiro, oppure quando una puntina di zaffiro viene sostituita con puntina di diamante. Nel primo caso il timore che la polvere abrasiva lasciata dalle puntine vecchie vada a danneggiare la nuova è fortunatamente infondato perchè le particelle lasciate dalle vecchie puntine di acciaio sono così piccole che il pericolo che distacchino delle schegge dalla pietra dura è nullo. Nel secondo caso la polvere lasciata dalla vecchia puntina è meno dura della sostanza che costituisce quella nuova e quindi l'usura provocata su questa è minima. Dopo avere suonato molte volte con puntine di zaffiro e di diamante dischi che erano stati suonati con puntine di acciaio all'epoca della sua giovinezza, lo scrivente ha potuto constatare che l'usura era assolutamente normale.

Dischi ripetutamente suonati con puntine di diamante non dovranno però essere più suonati con puntine di zaffiro, perchè l'usura di queste sarebbe più rapida.

§ 3. I dischi e loro manutenzione

Molti discofili calcolando a un certo momento quanto danaro hanno investito nella propria collezione di dischi si meravigliano, ma il propo-

nimento che fanno di moderarsi per l'avvenire resta generalmente inattuato. Così è perfettamente logico dedicare delle cure e delle attenzioni a una preziosa raccolta di dischi e per tale motivo il problema delle puntine deve essere considerato anche dal punto di vista della conservazione dei dischi.

Alcuni credono che l'usura dei dischi dipenda in gran parte dalle temperature, indubbiamente elevate, che si determinano nella superficie di contatto fra la puntina e il disco. Se ne potrebbe dedurre che siccome una puntina meno dura presenta una superficie di contatto maggiore, la pressione risulta più bassa e la temperatura minore; inoltre una tale puntina si consuma più rapidamente e la superficie di contatto diviene dunque ancora maggiore. Prove comparative effettuate con puntine di diamante e di zaffiro hanno mostrato infatti che quando si suona un disco nuovo con una puntina nuova, l'usura del disco nelle prime ore è minore con una puntina di zaffiro; essenzialmente perchè questa esce dalla lavorazione più levigata. Ma dopo 5-10 ore di servizio delle due puntine la situazione cambia. La puntina di zaffiro comincia a consumarsi e a presentare delle sfaccettature tali che il disco ne risente. Segnaliamo che l'usura del disco è in questo caso estremamente piccola e si può rivelare solo con i migliori impianti e su dischi accuratamente selezionati e inoltre quando si usa un disco nuovissimo come riferimento. Se l'impianto o il disco presentano di per sè qualche distorsione o se il disco non comporta dei **fortissimo,** questo inizio di usura sfugge anche all'ascoltatore più esperto.

Nell'impiego prolungato delle puntine si constata che le sfaccettature e gli spigoli vivi che vi si formano per logorio sono le cause principali di usura dei dischi e che in fin dei conti la puntina di diamante è la migliore soluzione per quanto riguarda l'usura dei dischi, lo zaffiro venendo in seconda posizione e il metallo duro in terza. Un elemento che ha anch'esso la sua importanza a questo riguardo è che il diamante ha sul disco il minor coefficiente di attrito, inferiore anche a quello dello zaffiro. Si è riscontrato che più dura è la puntina, meno polvere d'usura lascia nel disco e quindi meno vengono attaccati nelle riproduzioni seguenti il solco e il disco. La difficoltà è che non esiste un metodo sicuro per misurare l'usura dei dischi. Con alcuni dischi di prova si riuscirebbe forse a farsi un'idea dell'aumento della distorsione dopo un certo numero di riproduzioni, ma poichè l'usura è maggiore nei **fortissimo** e poichè sono appunto questi passaggi che sfuggono alle misure, il valore di una tale esperienza è molto limitato. Anche la misura del rumore di fondo potrebbe essere effettuata solo con dischi speciali e durante gli intervalli nei quali non c'è modulazione; ma anche qui è appunto nei **fortissimo** che i rumori estranei sono più forti. Poichè non è possibile fare altrimenti, è necessario procedere a prove di ascolto soggettive. Una serie di tali prove ha mostrato che esiste una relazione piuttosto stretta fra l'usura delle puntine e quella dei dischi, cioè se a un certo momento o in circostanze determinate una puntina si consuma rapidamente, si verifica lo stesso anche per il disco. Molte delle conclusioni tratte nelle pagine precedenti a proposito delle puntine si possono applicare dunque anche ai dischi.

Se conservato con cura, un disco microsolco ha durata praticamente illimitata. In una prova di paragone fra un disco microsolco suonato sessanta volte e un esemplare nuovo, nessuno dei cinquanta ascoltatori trovò una differenza. E' probabile che se questa prova fosse stata ripetuta più volte, qualcuno degli ascoltatori avrebbe notato qualche piccola differenza nei **fortissimo,** ma questo non modifica il fatto che dopo sessanta riproduzioni l'usura è evidentemente assai piccola. Per le dimostrazioni di apparecchi ad alta fedeltà i dischi (normali del commercio) possono essere suonati, secondo le esperienze da noi fatte, fino a 200 volte; dopo di che, benchè sia consigliabile la sostituzione, il peggioramento della qualità è così piccolo che possono ancora essere ascoltati con piacere anche su un apparecchio ad alta fedeltà. Non si noterà differenza con un disco nuovo se l'amplificatore usato trasmette una gamma di frequenze un po' più ristretta o presenta una certa distorsione (in tal caso naturalmente l'apparecchio non merita la qualifica di alta fedeltà).

Dopo essere stati suonati 500 volte i dischi hanno perso molte delle loro migliori qualità, ma se vengono suonati ancora su un impianto a curva di risposta limitata, si trovano meno cattivi di quanto ci si aspetti per distorsione e rumore di fondo. Se non si esige molto, si possono ancora suonare su un impianto ad alta fedeltà. Dopo 1000 riproduzioni la qualità è talmente peggiorata che i dischi sono divenuti inutilizzabili, benchè un disco nuovo suonato su un cattivo grammofono non dia un risultato migliore e ciò nonostante sia ascoltato con soddisfazione dal possessore.

Molti lettori diranno che le cifre sopra esposte sono esageratamente ottimiste e se non si prestano ai dischi le attenzioni e le cure necessarie, la loro qualità scade in realtà molto più rapidamente. La prima condizione da osservare per ben conservare a lungo una collezione di dischi è di non impiegare mai puntine troppo consumate. Occorre poi che il braccio del pick-up si muova da parte sua del tutto liberamente. Le puntine della fig. 40 sono più consumate da una parte che dall'altra e precisamente l'usura maggiore si verifica dalla parte più vicina al centro del disco, ossia dalla parte interna. Questo avviene per effetto della forza centripeta che agisce sul pick-up, come abbiamo spiegato con l'ausilio della fig. 33. Se però l'articolazione del braccio del pick-up è troppo dura, è il lato esterno della puntina che si consumerà di più, con maggior danno per il solco; questo è un altro punto da considerare nell'interesse dei dischi quando si controllano le puntine.

Un'altra condizione da osservare è di tenere i dischi al riparo da polveri abrasive. Il pulviscolo atmosferico che turbina nelle nostre case è per metà tenero — lanugine di origine vegetale o tessile — per metà duro — grani di sabbia e di calce, particelle metalliche e polveri di varia natura. E' questa polvere dura quella dannosa e nello stesso tempo la più difficile da togliere. Per tale motivo i dischi debbono restare nelle loro buste il più possibile. Spazzolarli prima di suonarli è di utilità piuttosto limitata perchè la polvere che è penetrata nei solchi non può essere tolta che in parte in questo modo e quello che è peggio la spazzolatura carica elettrostaticamente il disco, il quale si mette allora ad attirare la polvere stessa. Benchè esistano spazzolini abbastanza buoni per

dischi microsolco, uno straccio leggermente umido oppure un panno speciale tipo **discleaner** è ancora preferibile. Una calza di nylon fuori uso è eccellente. Se ci fossero sul disco grosse particelle di polvere, come grani di sabbia o altro, occorre toglierle soffiando prima di passare il panno.

Posando il disco sul piatto giradischi o appoggiandolo altrove, bisognerà anche assicurarsi della pulizia delle superfici con le quali il disco viene a contatto. Quando il piatto portadischi è ricoperto di tessuto o di feltro, la presenza di un granello duro di polvere non è dannosa perchè il granello penetra di preferenza nel rivestimento soffice piuttosto che nel disco, ma se il piatto è ricoperto di gomma o di plastica, queste sostanze oppongono resistenza alla penetrazione di grani duri ed è il disco a risentirne.

Neanche la busta deve contenere polvere e soprattutto i bordi incollati possono essere dannosi. Le buste con custodia interna estraibile hanno il grande vantaggio che i dischi vengono collocati in quest'ultima prima di scivolare nella busta, in modo che la polvere dura che può trovarsi sul disco non lo riga. Le nostre preferenze sono per una custodia interna fatta di un materiale come la carta filtro, che cede sotto la pressione delle particelle dure, piuttosto che per i modelli di materiale plastico che non evitano il rischio che il disco si righi. Si può tranquillamente affermare che non ha importanza il fatto che la carta filtro tende essa stessa a lasciare della peluria e a dare così al disco un aspetto polveroso, perchè questa peluria è troppo inconsistente per sciupare il disco. Essa aderisce alla puntina del pick-up e la si può togliere da questa, prudentemente, di quando in quando, con un dito. Analogamente dicasi della lanugine lasciata dal piatto portadischi ricoperto di tessile o feltro. Per le buste senza custodia interna si cercherà di tenerle bene aperte quando si introduce o si estrae il disco, per fare in modo che questo entri od esca senza strofinare contro la carta.

Quando ai prodotti per la pulizia dei dischi, brevettati o no, con proprietà antistatiche o senza, non ci si aspetti l'impossibile e uno straccio leggermente umido si dimostra efficace come la maggior parte dei prodotti speciali. I liquidi da spruzzare sul disco e da far evaporare lentamente possono talvolta attaccare il rivestimento del piatto portadischi o delle parti metalliche e la prudenza non è mai troppa quando ci si serve di tali liquidi.

Dopo un'audizione di dischi può capitare di trovarci su tracce di bevande o di vivande servite. Benchè il burro, la crema, i liquori o l'alcool non siano di per sè dannosi per il disco, essi raccolgono la polvere e questa polvere rappresa è dannosa. Pulendo il disco prudentemente con una spugna, usando un detersivo privo di sapone, molto diluito e praticamente freddo, risciacquando poi con acqua pulita, si può far sparire lo sporco. La maggior parte dei liquidi per smacchiare attaccano il disco; solo l'alcool etilico non è dannoso, benchè anche questo vada usato con discernimento poichè è sempre possibile che un fabbricante abbia fatto entrare in un certo momento nei dischi un ingrediente solubile nell'alcool etilico. In generale è consigliabile toccare il disco solo nelle parti senza incisione, per evitare di lasciare impronte di dita sui solchi. Però se i dischi sono troppo grandi per essere maneggiati con facilità in questo mo-

do, si rischia di farli cadere e tutto considerato è talvolta preferibile lasciarvi delle ditate.

Quando sono bene al riparo dalla polvere e quando le puntine sono mantenute in buono stato, i dischi durano molto e le graffiature dovute a maneggi effettuati con poca attenzione sono allora in generale la causa principale del peggioramento della loro qualità. Anche questo però si può evitare e l'unica cosa che resta allora da fare è di conservare i dischi nel modo corretto. I dischi debbono essere disposti preferibilmente in posizione verticale; non lasciarli mai inclinati; metterli uno sull'altro non è dannoso se le pile non risultano troppo alte, se comportano solo dischi dello stesso diametro e se la superficie di appoggio è perfettamente piana, altrimenti i dischi si deformano. Se il numero di dischi collocati verticalmente in uno scaffale non lo riempie e se i dischi tendono a disporsi inclinati, è necessario tenerli dritti per mezzo di libri o di assicelle. I dischi microsolco si conservano di preferenza nelle loro copertine, i dischi di gomma lacca in album.

Quando un disco per una causa qualunque presenta una deformazione che provoca inconvenienti perchè il disco scivola sul piatto o perchè si teme un'usura irregolare causata dal braccio del pick-up piuttosto pesante, si può spianare il disco stesso ponendolo su una lastra di vetro e scaldandolo con molta prudenza. D'estate si può farlo esponendo il disco al sole; d'inverno mettendolo vicino, ma non troppo, a una stufetta elettrica. Occorre scaldare finchè il disco non torni piano per effetto del proprio peso e non si cerchi mai di accelerare l'operazione premendolo. Togliere il disco dal piano di vetro solo quando è freddo. Un disco può deformarsi anche per effetto di tensioni interne sviluppatesi nel materiale all'atto dello stampaggio. Benchè sia possibile rimediarvi nel modo suddetto, resta la possibilità che il disco accusi di nuovo la stessa deformazione qualche tempo dopo il trattamento. Se la deformazione è abbastanza piccola da non influire sulla riproduzione è forse meglio accettare tale difetto di apparenza e lasciare il disco come è.

Si raccomanda di conservare i dischi in un luogo dove non faccia troppo caldo, dunque non in vicinanza di una stufa o di un radiatore per riscaldamento. Un ambiente molto asciutto non è adatto perchè i dischi microsolco attirano in tal caso la polvere con maggior facilità.

CAPITOLO VII

GIRADISCHI E CAMBIADISCHI

§ 1. Il motore

I giradischi e i cambiadischi hanno gli stessi organi fondamentali: un pick-up con relativo braccio, un piatto ruotante mosso da un motore e un organo che, comandato in un modo qualunque dal braccio del pick-up, aziona l'interruttore o il dispositivo per il cambio del disco quando la puntina è arrivata nel solco terminale. Sono appunto gli elementi comuni a entrambi che hanno la maggiore importanza sulle possibilità di questi apparecchi. Eventuali differenze di qualità fra giradischi e cambiadischi non dipendono in genere dalla presenza o meno di un meccanismo per il cambio automatico dei dischi, ma trovano la loro origine nel piatto portadischi, nel motore o nel braccio del pick-up.

I motori dei grammofoni moderni sono quasi senza eccezioni motori a indotto a gabbia di scoiattolo, a sfasamento induttivo. Solo i motori destinati alle reti a corrente continua hanno ancora un collettore a settori e possono dunque dare luogo a parassiti, causa di rumori nell'altoparlante. I suddetti motori a induzione hanno velocità praticamente costante ed è pertanto divenuto superfluo il regolatore centrifugo; l'esperienza ha mostrato che con carichi non molto variabili e con variazioni della tensione di rete sufficientemente piccole, la loro velocità resta costante entro qualche decimo di percento. Solo le variazioni della frequenza di rete hanno un'influenza notevole sulla velocità del motore, perchè questa è proporzionale appunto alla frequenza. Ma poichè la frequenza della rete luce è molto costante e poichè se varia, varia leggermente solo nelle ore di punta (e ancora assai poco), non ne risultano difficoltà.

Il principio di funzionamento del motore grammofonico a indotto a gabbia è spiegato nella fig. 44. Fra le espansioni polari di un'elettrocalamita eccitata dalla bobina L, alimentata dalla rete a corrente alternata, può ruotare un indotto o rotore. Le due espansioni polari dell'elettrocalamita, o statore, sono provviste di una scanalatura nella quale passa, come è mostrato in figura, una spira in corto circuito. La corrente che scorre nella bobina L produce fra le due espansioni polari un campo magnetico alternato che attraversa anche il rotore; la direzione di questo campo è indicata da segmenti tratteggiati passanti per il centro del rotore stesso, fig. 44a. La fig. 44b rappresenta come varia in funzione del tempo l'intensità del campo. Cominciando dall'istante zero, il flusso che esce dalla porzione maggiore delle espansioni polari (linea a tratti) aumenta progressivamente fino a un massimo, quindi diminuisce, a un certo istante si annulla, s'inverte di senso, raggiunge un massimo negativo e così via. La stessa cosa avviene nella parte delle espansioni polari dove si trovano le spire in corto circuito, con un certo ritardo però (linea a punti) rispetto al campo principale.

Dopo ¼ di periodo dall'istante zero, il campo magnetico è solo quello uscente dalla parte principale delle espansioni polari; dopo ½ perio-

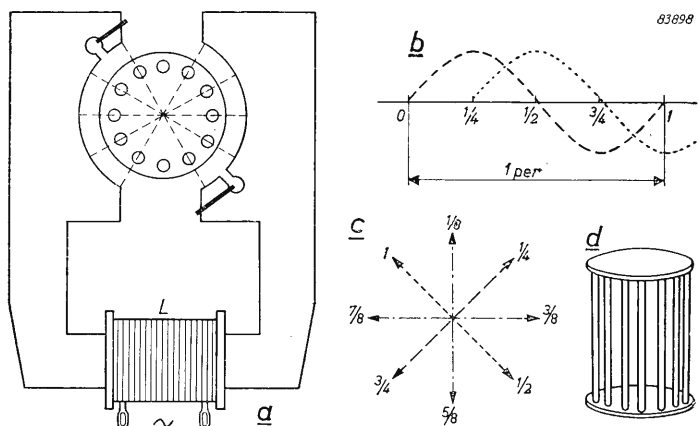



Fig. 44. Principio di funzionamento del motore grammofonico a due poli.

do il campo è solo quello prodotto dalle spire in corto circuito ed è allora un po' più debole; dopo ¾ di periodo il campo magnetico è di nuovo solo quello uscente dalla parte principale delle espansioni polari, ma di senso inverso; dopo 1 periodo il campo è di nuovo quello prodotto dalle spire in corto circuito, anche qui di senso inverso. Negli istanti compresi in questi quarti di periodo, le due parti delle espansioni polari contribuiscono entrambe alla formazione del campo magnetico.

La somma dei due campi è un campo magnetico risultante non alternato (come lo sono invece i due campi componenti) ma d'intensità approssimativamente costante (all'incirca uguale all'intensità di uno dei due campi componenti quando l'altro è zero, cioè a ¼, ½, ¾ o 1 periodo) e di direzione variabile, cioè rotante, fig. 44c. Più precisamente il campo risultante compie 50 rotazioni al secondo quando la frequenza di rete è di 50 c/s e 60 rotazioni al secondo quando la frequenza di rete è di 60 c/s e si può concludere che si otterrebbe lo stesso risultato facendo ruotare una barra magnetizzata 50 oppure 60 volte al secondo.

L'indotto, o rotore, è rappresentato nella fig. 44d. Esso è costituito da un certo numero di barrette di rame immerse in un nucleo di ferro e saldate alle estremità a piastrine circolari anch'esse di rame. La presenza del ferro facilita il passaggio del flusso magnetico attraverso il rotore e fa assumere al campo stesso la direzione voluta. Per effetto della rotazione, il campo magnetico si muove rispetto alle barrette di rame del rotore ossia varia e pertanto vi genera delle tensioni indotte, come abbiamo già detto a proposito dei pick-up. Poichè le barrette sono collegate fra loro dalle piastrine di rame, vi circolano correnti indotte che a loro volta producono un secondo campo magnetico. Se immaginiamo che anche questo sia prodotto da un barra magnetizzata, vediamo fa-

cilmente che la seconda calamita fittizia verrà attratta dalla calamita fittizia che rappresenta il campo dello statore. Quest'ultimo descrive, come abbiamo detto, 50 (o 60) rotazioni al secondo e il magnete rotorico cercherà di seguirlo; poichè il campo magnetico dell'indotto e l'indotto stesso sono solidali fra loro, ruoteranno insieme. In realtà l'indotto non compie 50 rotazioni al secondo, o 3000 giri al minuto, ma un po' meno, per esempio 2950 giri al minuto, perchè se effettuasse esattamente 3000 giri al minuto il campo magnetico dello statore, che ha esattamente questa velocità, resterebbe immobile rispetto alle barrette del rotore e non potrebbe indurvi delle tensioni.

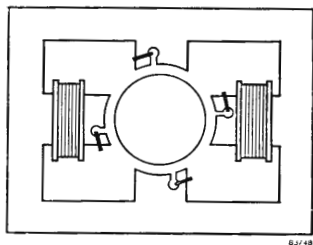



Fig. 45. Motore grammofonico a quattro poli.

Oltre ai motori a due poli ce ne sono anche a quattro poli (fig. 45). Il principio di funzionamento è identico, la velocità di rotazione è però la metà, cioè un po' meno di 1500 giri al minuto. I vantaggi e gli svantaggi dei motori a due poli e di quelli a quattro non sono sempre esattamente intesi. Ad esempio si crede assai spesso che i motori a quattro poli girino più regolarmente di quelli a due poli, perchè l'indotto del motore a quattro poli riceve ad ogni giro da parte del campo magnetico statorico un numero doppio di **impulsi.** Però quello che interessa in pratica per la regolarità della rotazione è il numero degli impulsi al secondo ricevuti e questo è uguale per entrambi i tipi. Se è vero che un motore d'automobile ad otto cilindri ha una marcia più uniforme di uno a quattro cilindri, ciò dipende dal fatto che nei due casi il numero di giri al minuto è praticamente lo stesso e perciò il numero di impulsi al secondo nel motore ad otto cilindri è doppio.

Con i motori elettrici questa differenza non esiste; al contrario, a causa della velocità più elevata è il motore a due poli che gira più regolarmente. La quantità di energia cinetica accumulata nel rotore è, a parità di peso dei rotori, quattro volte maggiore nel motore a due poli (questa energia e uguale a $\frac{1}{2}\, m\omega^2$ dove m è la massa ed ω la velocità di rotazione). I motori a quattro poli sono generalmente più voluminosi ed hanno un indotto più pesante. Se da una parte questo aumenta la potenza nel rotore, gli impulsi per mantenerlo in movimento debbono essere anch'essi più forti e ciò aumenta il livello del ronzio. Se inoltre l'indotto per un giuoco anche piccolo nei supporti vibra un po', per effetto del maggior peso comunicherà alla ruota intermedia spinte più forti di un indotto di motore a due poli, che è più leggero.

Naturalmente è molto importante che l'indotto ruoti con velocità costante. Nel motore riprodotto nella fig. 46 il numero delle spire in corto circuito è stato portato a 10. Il valore del campo magnetico rotante è divenuto così più uniforme; pur non aumentando la forza del magnete statorico, è aumentata la regolarità di rotazione e il rotore risulta soggetto a minori vibrazioni.

Il giuoco nei supporti deve essere ridotto al minimo. Per arrivarvi si fa talvolta l'alberino un po' più grosso del necessario e si procede al

rodaggio finchè l'alberino stesso non ruoti con facilità. Un inconveniente di questo metodo è che l'usura dell'alberino non si limita al periodo di rodaggio ma continua anche dopo e per conseguenza nei supporti, dopo qualche mese di servizio, compare un giuoco che aumenta i disturbi. Per quanto riguarda il motore della fig. 46, l'alberino dopo la lavorazione normale subisce un trattamento speciale (superfining) che toglie anche le rigature dell'aggiustaggio e dà superfici così levigate che l'usura è nulla anche dopo un lungo periodo di funzionamento. La precisione con la quale vengono finiti i supporti deve naturalmente essere analoga e rispondere anch'essa a esigenze assai severe. Le operazioni effettuate tanto sull'alberino che sui supporti presentano grande analogia con i procedimenti seguiti nella meccanica fine dell'orologeria.

Per avere buoni risultati è inoltre necessario che il rotore sia bene equilibrato. Si può farlo appoggiando l'alberino del rotore su due coltelli paralleli in modo che il rotore si porti con la parte più pesante in basso (come avviene ad esempio con una ruota di bicicletta, in cui il peso della valvola si porta sempre in basso); in questa parte si asporta quindi del materiale mediante fori di alleggerimento. Un procedimento molto migliore consiste nel fare ruotare il rotore alla sua velocità normale e nel determinare la posizione del baricentro su un banco per il bilanciamento dinamico. Per questa determinazione il rotore viene illuminato da una piccola lampada stroboscopica ed è nel punto dove la stessa cifra (fig. 46) compare costantemente davanti a un indice che si trova l'eccesso di peso. Contrariamente al bilanciamento statico, il bilanciamento dinamico permette di ottenere un equilibramento esatto a entrambe le estremità dell'alberino.

Un altro punto importante è quello della potenza del motore. Per far ruotare alla velocità voluta un piatto con un disco da 30 cm occorre una potenza di circa 50 mW e un po' di più se il piatto porta 10 dischi, a causa dell'attrito maggiore nel supporto. Supponendo che la trasmissione fra il motore e il piatto abbia un rendimento del 50%, il motore deve dunque sviluppare 100 mW = 0,1 W. Benchè il rendimento di un motore per grammofono sia basso, si deduce da quanto sopra detto che un motore con una potenza di qualche watt è più che sufficiente. Il giradischi Philips alimentato a pile è munito di un motore da meno di un watt.

Fig. 46.
Motore del giradischi tipo AG 2004.

In generale si prende un motore di potenza alquanto

maggiore dello stretto necessario, per evitare che si debba attendere troppo prima che il piatto portadischi raggiunga la velocità di regime; se si tratta di un cambiadischi perchè c'è anche da azionare il dispositivo per il cambio dei dischi. In ogni caso un motore da 8 W è più che sufficiente. Più avanti mostreremo ancora che la potenza del motore ha poca influenza, o affatto, sulla costanza della velocità di rotazione del piatto.

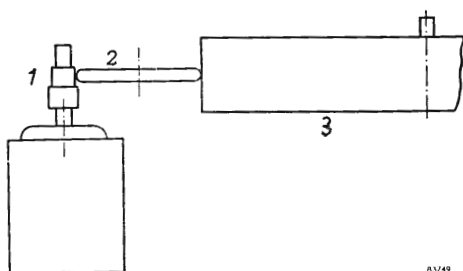
Fig. 47. Movimento del piatto a tre velocità: 1) puleggia motrice, 2) ruota intermedia, 3) piatto portadischi.

D'altro canto un motore troppo potente non solo sviluppa più calore, ma eleva anche dannosamente il livello del ronzio. Un motore troppo pesante non è raccomandabile per un grammofono, come non lo è un pesante motore diesel per un'autovettura.

Dall'albero del motore al piatto portadischi il movimento viene trasmesso, nella grande maggioranza dei casi, mediante una ruota intermedia. La trasmissione mediante ruota elicoidale-vite senza fine è oggi quasi completamente abbandonata, in parte a causa delle difficoltà che presenta per l'applicazione delle tre velocità al piatto, in parte per le maggiori vibrazioni trasmesse al piatto stesso e infine per considerazioni di prezzo. Il principio di funzionamento della ruota intermedia è illustrato nella fig. 47. La puleggia motrice (1) presenta tre diametri diversi; la ruota intermedia (2) appoggia da una parte sulla puleggia motrice e dall'altra sul piatto portadischi (3). Quando il motore gira, la puleggia motrice trascina la ruota intermedia che, a sua volta, trasmette il movimento al piatto. La velocità del piatto è determinata dalla velocità di rotazione del motore, dal diametro della puleggia motrice e dal diametro del piatto nel punto dove appoggia la ruota intermedia. Il diametro della ruota intermedia non ha alcuna influenza sulla velocità del piatto portadischi e lo si può dimostrare facilmente.

Se d_1 è il diametro della puleggia motrice, d_2 quello della ruota intermedia e d_3 quello del piatto, se inoltre n_1 è il numero di giri al minuto descritti dalla puleggia motrice, la velocità di rotazione della ruota intermedia è: $n_2 = \frac{d_1}{d_2} \times n_1$ (il numero di giri è inversamente proporzionale al diametro). La velocità del piatto portadischi è dunque:

$$n_3 = \frac{d_2}{d_3} \times n_2 = \frac{d_2}{d_3} \times \frac{d_1}{d_2} \times n_1 = \frac{d_1}{d_3} \times n_1.$$

Come si vede il diametro della ruota intermedia non figura in questa formula.

Prendendo 25 cm come diametro del piatto e 2950 giri al minuto come velocità di rotazione del motore, si ottengono i seguenti valori per il diametro della puleggia motrice:

per 33⅓ giri al minuto: mm 2,8
» 45 » » » : mm 3,78
» 78 » » » : mm 6,56

Poichè la velocità di rotazione del piatto portadischi è determinata in massima parte dal diametro della puleggia motrice, questa deve essere realizzata con la massima precisione; le tolleranze ammissibili sono dell'ordine di 10 micron. Anche quando la precisione è così elevata è però talvolta necessario disporre di una certa possibilità di regolazione; questa si ottiene dando ai tre gradini della puleggia motrice una forma leggermente conica; la velocità si può allora regolare con precisione spostando verticalmente la ruota intermedia. Un'altra soluzione è quella di applicare il movimento al piatto non sul bordo laterale ma sulla faccia inferiore (vedi ad esempio la fig. 54).

La ruota intermedia è un organo importante; è vero che non ha influenza sulla velocità di rotazione del piatto, ma solo se è perfettamente circolare; se non lo è la sua velocità di rotazione non è costante. Le variazioni di velocità vengono trasmesse al piatto e pertanto varierà anche l'altezza dei suoni con un ritmo rapido, il che avrà un'influenza assai sfavorevole sulla qualità della riproduzione. Possono anche risultarne dannose vibrazioni. Poichè la ruota intermedia è quasi interamente di gomma o comporta in ogni caso una superficie di rotolamento di gomma, non è cosa molto semplice renderla esattamente circolare. La composizione e la qualità della gomma impiegata hanno molta importanza sul risultato finale. Per poter sagomare con sufficiente precisione il bordo di gomma, questo viene lavorato su un tornio speciale ad alta velocità, fino a renderlo perfettamente circolare. Ci sono due motivi per i quali si ricorre alla gomma. Anzitutto la gomma impedisce che le inevitabili vibrazioni del motore vengano trasmesse al piatto; nel modello rappresentato nella fig. 47 lo strato di gomma viene a interporsi due volte fra il motore e il piatto, una prima volta fra la puleggia motrice e la ruota intermedia e una seconda volta fra questa e il piatto. In secondo luogo la superficie di rotolamento di gomma rende trascurabile lo scivolamento della ruota intermedia sulla puleggia motrice e del piatto sulla ruota intermedia. Benchè per questo scopo sarebbe meglio impiegare per la ruota intermedia gomma assai morbida, non si può nemmeno esagerare in questo senso perchè la gomma si deformerebbe troppo sotto l'azione delle forze di giuoco e la rotazione del piatto risulterebbe irregolare. La scelta e la lavorazione del materiale sono dunque cose assai difficili, tanto più che la gomma tende a indurire quando la sua composizione non è adatta all'uso.

Il fissaggio della ruota intermedia è un'altra operazione che presenta delle difficoltà. La ruota intermedia deve esercitare una certa pressione, piuttosto bassa, sulla puleggia motrice e sul piatto portadischi e perciò un supporto fisso non è adatto, tanto più che la ruota intermedia deve avere la possibilità di essere spostata sui tre gradini della pu-

leggia motrice; nello stesso tempo il giuoco deve essere piccolo; la fig. 54 mostra una soluzione caratteristica di questo problema. Un'altra difficoltà è rappresentata dal fatto che la gomma si deforma permanentemente quando è lasciata a lungo sotto pressione. In un giradischi che resti fermo per molto tempo, se la puleggia motrice appoggia sulla ruota intermedia sempre nello stesso punto vi produce un avvallamento che dà luogo a una vibrazione sgradevole nell'apparecchio quando viene usato di nuovo; questa vibrazione può sparire completamente ma può in parte restare quando l'apparecchio riprende a funzionare; la gravità della deformazione dipende inoltre anche dalla qualità della gomma. Poichè è meglio prevenire che curare, la leva per il cambio delle velocità nei giradischi e cambiadischi Philips comporta attualmente una quarta posizione, di riposo, nella quale la ruota intermedia non appoggia nè sulla puleggia motrice nè sul piatto.

Un giradischi e un cambiadischi debbono essere lubrificati assai di rado, ma in tali occasioni occorre prestare la massima attenzione per evitare nel modo più assoluto che il grasso raggiunga la gomma della ruota intermedia, perchè in tal caso la gomma ne risulterebbe irrimediabilmente attaccata.

§ 2. Il piatto portadischi

Il piatto deve ruotare con regolarità perfetta a una velocità determinata. Anche se il motore gira a velocità perfettamente costante, questa condizione non è sempre soddisfatta. Nei passaggi forti della musica il disco, e di conseguenza anche il piatto, vengono leggermente frenati. Per effetto di tale azione frenante la gomma della ruota intermedia si deforma e la velocità del piatto diminuisce momentaneamente. Dopo qualche istante la gomma assume una nuova posizione di equilibrio anche se la forza esercitata dalla puntina del pick-up sul disco permane elevata e si ristabilisce la velocità iniziale. Quando il massimo musicale ha termine, avviene esattamente il contrario.

C'è un'analogia con quello che accade quando si fa muovere un carrettino su un tavolo tirandolo con un elastico. Se il carretto è fermo, tirando l'elastico questo si allunga fino a che il carretto si mette in movimento. Se le ruote incontrano un piccolo ostacolo, una salita o altro, il carretto rallenta un po', l'elastico si allunga di più, dopo di che il carretto riprende la sua velocità iniziale (con l'elastico più lungo). Finito l'ostacolo, avviene l'inverso; il carretto corre più rapidamente per un istante, l'elastico si accorcia e il carretto riprende la sua velocità iniziale. Però se è abbastanza pesante e se la velocità è sufficientemente elevata, il carretto, per effetto della propria inerzia, supererà gli ostacoli mantenendo una velocità assai più costante. Lo stesso avviene con i piatti portadischi. Se sono sufficientemente pesanti, la velocità di rotazione resta sufficientemente costante anche quando l'attrito fra puntina e disco varia bruscamente. In generale non si può precisare ciò che si intende col termine **sufficientemente pesante.** Se il pick-up ha maggiore cedevolezza e minore massa in movimento, oppure se il braccio del pick-

up è più leggero, può andare bene un piatto più leggero. E' evidente che anche il cuscinetto d'appoggio del piatto ha la sua influenza e se non è scorrevole il piatto incontrerà maggiore difficoltà a mantenere velocità costante.

Un piatto portadischi ben costruito elimina anche le fluttuazioni di velocità del motore derivanti ad esempio da variazioni di breve durata della tensione di rete e quelle dovute a imperfezioni della ruota intermedia. Per evitare fluttuazioni di velocità altre condizioni da osservare sono che il cuscinetto d'appoggio del piatto abbia un giuoco assai piccolo, che la superficie del piatto dove appoggia la ruota intermedia sia perfettamente liscia, che il bordo del piatto (se il piatto viene mosso da tale parte) sia esattamente circolare e che il piatto stesso non sia soggetto a oscillazioni o vibrazioni proprie.

Anche quando queste condizioni sono soddisfatte tutte, possono ancora verificarsi piccole variazioni di velocità che danno origine a conseguenti variazioni di altezza dei suoni riprodotti. Se le variazioni di altezza sono relativamente lente (da 1 a 3 al secondo), il fenomeno (wow), se udibile, viene chiamato mugolìo o lamentìo o simili; se le variazioni sono rapide, producono una musica tremolante o vibrata (flutter). Da prove eseguite si è potuto stabilire che se la velocità varia entro lo 0,3%, le variazioni di altezza sono assai difficili da percepire. Si è constatato inoltre che questi fenomeni sono percettibili soprattutto nella riproduzione di suoni relativamente bassi e, tranne i casi molto marcati, quando una stessa nota viene mantenuta per un certo tempo. I pezzi di musica lenti, suonati al pianoforte, sono sicuramente i più critici sotto questo punto di vista; la musica ritmica invece è quella che ne risente meno. Il limite sopra citato dello 0,3% è piuttosto severo e in realtà molti ascoltatori non vengono disturbati da variazioni di velocità del piatto anche quando si tratta di musica critica a questo riguardo. Dato che alle basse velocità del piatto il peso di questo contribuisce meno a mantenere costante la velocità ($\frac{1}{2}\, m\omega^2$ è piccolo), le fluttuazioni sono più difficili da evitare, soprattutto per la velocità di 33⅓ giri al minuto. E' però possibile rispettare nella media il valore dello 0,3% sopra citato anche nella costruzione in serie dei complessi, a condizione che tutto il progetto e il metodo di fabbricazione siano previsti per tale scopo.

Se si tratta di soddisfare esigenze più severe occorre prendere misure speciali. Il piatto portadischi viene allora ottenuto per fusione, lavorato su un tornio di precisione e quindi equilibrato; un tale piatto in fusione deve essere privo di soffiature e tutto questo fa sì che il prezzo risulti molto più elevato di quello di un piatto normale. La pesantezza del piatto non è qualità sufficiente e se in fabbricazione non vengono prese tutte le altre precauzioni necessarie, il risultato finale può deludere. Nei giradischi e cambiadischi Philips ad alta fedeltà le fluttuazioni di velocità sono in media inferiori allo 0,2%. Benchè, come abbiamo sopra detto, il disturbo causato da tali fluttuazioni dipenda tanto dal tipo di musica quanto dalla sensibilità dell'ascoltatore a loro riguardo, possiamo dare come orientamento generale i valori riportati nella tabella seguente.

	appena percett.	intoll.
musica lenta di pianoforte	0,2%	1,0%
musica di violino	0,5%	1,5%
orchestra sinfonica	0,5%	1,5%
musica da ballo	0,5%	1,5%
musica da ballo con pianoforte	0,5%	1,2%
jazz	1,0%	2,0%

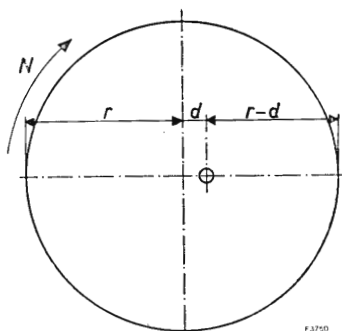
Questi valori non sono assoluti; per un pezzo allegro di pianoforte si potrà tollerare un po' più di fluttuazione, mentre per un valzer lento suonato da violini o per un **a solo** di corno inserito in una composizione sinfonica, le esigenze sono alquanto più severe.

Fig. 48. Fluttuazione della velocità dovuta all'eccentricità.

Lo scrivente ha potuto constatare che l'apparecchio riproduttore viene spesso accusato a torto di produrre fluttuazioni, mentre la causa va talvolta ricercata altrove. Questo avviene, ad esempio, quando il disco non si trova esattamente al centro del piatto, il che può dipendere dal fatto che il foro del disco è troppo grande oppure che il foro non è esattamente al centro, oppure quando il disco comporta dei solchi eccentrici, oppure ancora quando il perno del piatto non si trova esattamente al centro del piatto stesso. Non occorre molta matematica per spiegarlo. Se la distanza dal centro del disco di un solco determinato misura r cm e se il piatto da N giri al minuto, il solco corre alla velocità di $2\pi rN$ cm/min. Se l'asse di rotazione non passa per il centro del disco ma ne dista d cm, la velocità del solco è uguale a $2\pi(r + d)$ N cm/min in un certo momento (vedi fig. 48) e $2\pi(r - d)$ N cm/min in un altro momento. La velocità differisce quindi di più o meno $2\pi dN$ cm/min dalla velocità giusta e il solco corre prima troppo velocemente, poi troppo lentamente e così di seguito. Espressa in percento, la variazione di velocità è dunque uguale a:

$$\frac{2\pi dN}{2\pi rN} \times 100\% = \frac{d}{r} \times 100\%$$

Le fluttuazioni derivanti da un'eccentricità del piatto sono dunque uguali per tutte le velocità del disco e sono più accentuate quando r è piccolo, cioè per i solchi più interni. Ammettendo che in tal caso r sia uguale a 5 cm, un'eccentricità di solo 0,3 mm provoca fluttuazioni dello 0,6%, mentre per i solchi più esterni di un disco da 30 cm le fluttuazioni raggiungono, con la stessa eccentricità, il valore dello 0,2%. Benchè l'eccentricità tollerabile sia assai piccola, è anche vero che in pratica un'eccentricità grande del foro del disco si incontra assai di rado. Anche i dischi con solchi eccentrici sono rari.

Purtroppo non si è ancora raggiunta l'uniformità a proposito del diametro del foro dei dischi. I perni centrali dei piatti dei complessi professionali da studio sono in generale un po' più grossi di quelli dei giradischi per usi domestici. Alcuni fabbricanti di dischi basano il diametro

del foro centrale dei dischi sui complessi professionali e può quindi accadere che su un giradischi o un cambiadischi ordinario il foro del disco risulti un po' troppo grande per il perno e il disco non venga quindi a disporsi esattamente al centro del piatto. La maggior parte dei fabbricanti di dischi tengono conto però dei perni centrali più sottili e i loro dischi non si adattano bene, o non si adattano affatto, sui complessi professionali da studio.

Se un disco con un foro troppo grande dà luogo a lamentìo, si può cercare di rimediarvi disponendo sul perno centrale un pezzo di carta sottile prima di porre il disco sul piatto. Naturalmente questo accorgimento non si può seguire con un cambiadischi, a causa della presenza del perno lungo per il cambio dei dischi. La sola cosa possibile in tal caso è di centrare esattamente il disco a mano. I dischi deformati e i piatti con perno storto possono anch'essi provocare lamentìo. Il risultato ottenuto con un disco il cui foro è un po' troppo grande può migliorare o peggiorare a seconda che le eventuali fluttuazioni di velocità del piatto e quelle dovute all'eccentricità del disco si compensano o si sommano.

La misura delle fluttuazioni di velocità del piatto non è semplice e richiede apparecchi di misura speciali. I dischi stroboscopici usati per controllare la velocità di rotazione del piatto non sono adatti per questo scopo e le eventuali oscillazioni dei settori di questi dischi sono quasi sempre dovute a imperfezioni, ad esempio a deformazioni della carta con cui tali dischi sono fatti, e non hanno alcun rapporto con le fluttuazioni di velocità. Esperienze effettuate con dischi stroboscopici metallici assai precisi hanno d'altra parte dimostrato che solo i casi assai gravi di fluttuazioni possono essere messi in evidenza con questo sistema e che l'orecchio umano è uno strumento assai più sensibile.

La questione del rivestimento del piatto portadischi è già stata accennata nel capitolo riguardante la buona conservazione dei dischi. Un buon rivestimento di tessile è quello che noi preferiamo, perchè le particelle di polvere dura affondano nelle fibre e perchè tale rivestimento è più soffice della gomma, ad eccezione della schiuma di gomma che però deve essere rivestita a sua volta perchè altrimenti si sporca assai presto. Le materie plastiche hanno gli stessi inconvenienti della gomma e debbono inoltre essere scelte con attenzione per evitare il rischio che il plastificante al quale il materiale deve le sue proprietà meccaniche reagisca col plastificante dei dischi. Il più usato è un rivestimento di fibre di feltro, di seta artificiale o di nylon; sul piatto si stende a spruzzo la colla e quindi vi si fanno depositare le fibre. Un metodo migliore consiste nel far attrarre le fibre dal piatto mediante un campo elettrico (tensione da 25000 V a 50000 V); le fibre arrivano allora sul piat-

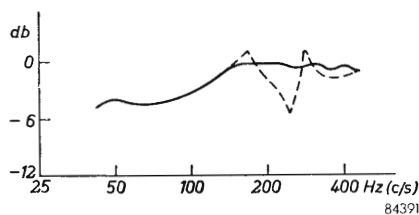



Fig. 49. Influenza del braccio del pick-up nella riproduzione dei bassi.

to verticalmente, penetrano più profondamente nella colla e restano dritte; il tutto risulta più elastico. Un trattamento speciale successivo permette di aumentare ancora l'aderenza delle fibre al piatto.

§ 3. Il braccio del pick-up

Dopo quanto è stato detto alle pagine 38 e 44, non abbiamo molto da aggiungere sull'argomento. Il braccio del pick-up deve essere articolato in modo che la puntina possa muoversi senza impedimenti fino al centro del disco e possa seguire il solco senza difficoltà, il che è importante anche per tenere bassa l'usura della puntina. Quando l'articolazione del braccio del pick-up è ben realizzata, la coppia necessaria a vincerne l'attrito può essere non superiore a 10-20 g · cm, cioè meno di 1 g di pressione laterale sulla puntina. Il braccio del pick-up deve potersi spostare facilmente anche in senso verticale, perchè i dischi non sono quasi mai perfettamente piani e quando il movimento verticale risulta troppo duro, l'usura è più rapida. Un giuoco eccessivo nelle articolazioni può però influire sulla qualità della riproduzione.

Un altro punto importante è la risonanza del braccio del pick-up. Anche il braccio ha una propria frequenza critica alla quale entra facilmente in vibrazione. Quando sul disco si presenta un suono di quella frequenza, il braccio del pick-up si mette a vibrare sulla stessa frequenza. Il pick-up basa il suo principio di funzionamento sul fatto che la puntina si sposta rispetto all'elemento rivelatore, il quale è solidale col braccio. Perciò se il braccio del pick-up vibra e con lui l'elemento rivelatore, i movimenti della puntina rispetto a quest'ultimo divengono più piccoli o più grandi, a seconda delle circostanze; pertanto quel suono determinato, al quale il braccio del pick-up è sensibile, verrà riprodotto con troppa o troppo poca intensità. Quando il braccio del pick-up è ben concepito, la frequenza critica è assai bassa e non figura, o figura assai di rado, sul disco; adatte misure inoltre vengono prese per smorzare il più possibile la risonanza del braccio del pick-up. Le articolazioni del braccio hanno anch'esse una parte importante a questo riguardo. La fig. 49 riproduce una parte della curva di risposta di uno stesso pick-up montato su due bracci differenti; se ne conclude che la pubblicazione della curva di risposta di un pick-up non ha valore se non si indica quale braccio è stato impiegato.

§ 4. Il meccanismo di fine corsa

La maggior parte dei moderni grammofoni elettrici comprendono un organo che alla fine del disco aziona un interruttore per l'arresto del piatto o un dispositivo per il cambio del disco. In linea di principio esistono per questo scopo tre sistemi:

a) Azionamento in posizione fissa

L'interruttore viene azionato quando il braccio del pick-up arriva in una determinata posizione. Poichè il diametro dell'ultimo solco musicale non è lo stesso per tutti i dischi (in particolare ci sono sensibili differenze fra i dischi da 33 1/3, 45 e 78 giri al minuto e anche, sebbene in misura

minore, fra dischi dello stesso tipo) occorre ogni volta regolare questo interruttore. Si possono semplificare le cose accoppiando l'interruttore alla leva per il cambio della velocità, senza preoccuparsi delle piccole differenze fra dischi dello stesso tipo; questo però non dà sempre risultati molto soddisfacenti e per tale motivo l'arresto in posizione fissa viene usato sempre meno.

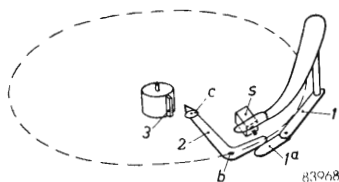



Fig. 50. Azionamento per accelerazione dello scatto di fine corsa.

b) Azionamento mediante solco eccentrico

Su molti dischi moderni l'ultimo solco è un cerchio chiuso su se stesso, eccentrico, e quando la puntina arriva in questo solco assume un movimento di va e vieni. Il fatto che il braccio del pick-up si sposti regolarmente per un certo tratto dall'interno verso l'esterno viene sfruttato per comandare l'interruttore. Un braccio ausiliario solidale col braccio del pick-up porta un nottolino; quando il braccio del pick-up si sposta verso l'interno unitamente al braccio ausiliario, il nottolino scivola sull'interruttore; quando il braccio del pick-up si sposta verso l'esterno, il nottolino impegna l'interruttore e lo apre. In pratica la costruzione è alquanto più complessa perchè sono necessarie alcune leve supplementari aventi fra l'altro il compito di richiudere l'interruttore quando il braccio del pick-up viene spostato verso l'esterno per un tratto più lungo. Anche il dispositivo per il cambio dei dischi può essere azionato in tale modo. L'inconveniente di questo sistema è che non funziona, naturalmente, sui dischi che non hanno solco finale eccentrico; benchè i dischi provvisti di tale solco siano moltissimi, l'analisi del mercato internazionale dei dischi mostra che ce ne sono ancora molti con solco terminale diverso.

Un vantaggio di questo sistema è che il pick-up può essere spostato a mano in un punto qualunque del disco senza alcuna difficoltà, contrariamente al metodo descritto nel paragrafo seguente.

c) Azionamento per accelerazione

Tanto coi dischi a solco terminale eccentrico che con quelli a solco terminale concentrico, il pick-up assume un moto centripeto accelerato quando la puntina lascia l'ultimo solco musicale per entrare nel solco terminale. Questo moto accelerato può essere utilizzato per azionare l'interruttore. Il principio di funzionamento di tale sistema è illustrato nella fig. 50. Al perno verticale del braccio del pick-up è fissato un braccio ausiliario 1 che porta all'estremità una piastrina 1a che può ruotare con leggero attrito rispetto ad 1. Quando il braccio del pick-up si sposta verso l'interno, 1 ed 1a si spostano con esso. A un certo momento la piastrina 1a arriva contro la leva di commutazione 2 che è imperniata nel punto b. La leva 2 può muoversi senza opporre resistenza e la piastrina 1a la fa ruotare verso sinistra; siccome il braccio del pick-up si sposta sul disco molto lentamente, il moto di 2 è anch'esso molto lento. A un certo momento la leva di commutazione arriva in una posizione tale che

una camma posta sul mozzo del piatto o sul piatto stesso tocca la rotella c e la leva di commutazione viene così leggermente respinta. Questo è possibile perchè 1a, essendo articolato rispetto al braccio 1, cede; ma regolarmente, continuando il braccio del pick-up a spostarsi verso l'interno, la leva 2 viene di nuovo sospinta a sinistra e di qui di nuovo respinta dalla camma; gli spostamenti in questione sono dell'ordine di grandezza di qualche decimo di millimetro. Non appena la puntina del pick-up lascia l'ultimo solco musicale del disco, il braccio del pick-up accelera il suo movimento verso l'interno e analogamente dicasi per la leva di commutazione (circa 6 mm per ogni giro del piatto); la camma 3 non arriva più sulla rotella c ma impegna l'estremità della leva di commutazione, la quale ruota ed azione l'interruttore S o il dispositivo per il cambio del disco.

Questo sistema di arresto o di commutazione funziona con tutti i solchi terminali; presenta però l'inconveniente di entrare in azione anche quando il pick-up viene spostato a mano verso il centro del disco ed è così più difficile suonare un determinato frammento di una registrazione. Dimensionando opportunamente i vari pezzi, si può però fare in modo che il meccanismo di arresto entri in azione solo quando il pick-up è arrivato a 6 cm circa dal centro del disco. Poichè a questa distanza c'è ancora un certo numero di solchi il funzionamento del meccanismo è ancora assicurato, mentre, d'altra parte, la puntina può essere spostata a mano praticamente in un punto qualsiasi della parte incisa del disco.

§ 5. Il giradischi

Nei paragrafi precedenti di questo capitolo ci siamo tenuti su principi di carattere generale. Le realizzazioni pratiche possono però talvolta scostarsene notevolmente e non ci è possibile illustrarle tutte nemme-

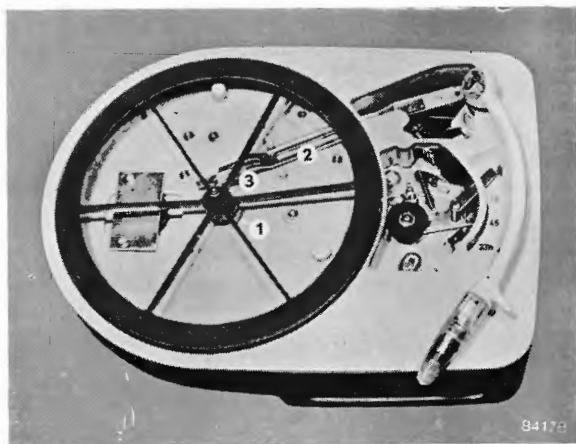



Fig. 51. Giradischi tipo AG 2004 (in sezione).

no per sommi capi nel quadro del presente volume; pertanto ci limiteremo a un solo esempio.

La fig. 51 riproduce il giradischi tipo AG 2004. Il motore di questo giradischi è del tipo descritto precedentemente; l'albero ruota verticalmente ed è provvisto all'estremità superiore di una puleggia a gradini. La ruota intermedia può essere abbassata e sollevata per mezzo di una leva e fermata in 4 posizioni. Nella posizione più bassa, che è la posizione di riposo, la ruota intermedia è tenuta a una certa distanza dalla puleggia motrice e dal bordo del piatto; nella posizione seguente la ruota intermedia appoggia sulla parte più grossa della puleggia motrice, corrispondente alla velocità di 78 giri al minuto del piatto portadischi e così di seguito. Il motore e la ruota intermedia, la leva con la relativa sagoma d'appoggio sono montati su un'unica piastra metallica supportata da molle per evitare che le vibrazioni del motore si trasmettano attraverso la piastra di base in Philite al piatto portadischi e al braccio del pick-up. Il piatto è a sospensione giroscopica; nella parte superiore del manicotto centrale del piatto è posta una sferetta che va ad appoggiare sullo spinotto fissato alla piastra di base. Tale sospensione dà una rotazione particolarmente dolce e regolare.

Sotto il piatto si trova la camma (1) che aziona lo scatto di fine corsa. Il perno del braccio del pick-up trascina per attrito una levetta a braccio che spinge la leva oscillante (2) verso la camma. Finchè la puntina corre nei solchi musicali, questo movimento è assai lento e la leva oscillante viene regolarmente respinta dalla camma che tocca il tampone di plastica (3). Quando la puntina entra nel solco terminale del disco, il movimento della leva oscillante diviene rapido e prima che la camma abbia il tempo di allontanare il tampone ne urta la punta; la leva oscillante riceve così una spinta in direzione longitudinale e retrocede aprendo l'interruttore. Quando il braccio del pick-up viene spostato a mano verso l'esterno, la leva oscillante avanza determinando la chiusura dell'interruttore. Insieme all'interruttore di rete viene azionato anche un secondo interruttore che cortocircuita il pick-up quando il motore non gira. Vengono così soppressi i rumori parassiti, come il fruscìo della puntina nel solco terminale.

Montandolo in un radiogrammofono o in un altro apparecchio comprendente già un altoparlante, questo giradischi deve poggiare su un certo numero di molle, per evitare che le vibrazioni dell'altoparlante si comunichino al pick-up. Quest'ultimo le trasformerebbe di nuovo in tensioni elettriche che verrebbero di nuovo amplificate, trasmesse di nuovo all'altoparlante e così di seguito. Potrebbe risultarne una reazione tale da far entrare in oscillazione l'impianto grammofonico e in questo caso dall'altoparlante uscirebbe un urlo assai sgradevole, la cui altezza sarebbe determinata, fra l'altro, dalle proprietà acustiche del mobile. Naturalmente il fenomeno si manifesta solo al di sopra di un certo valore di amplificazione; però a volumi sonori bassi le vibrazioni uscenti dall'altoparlante anche se troppo deboli per determinare un innesco possono dare luogo a una certa distorsione di determinati suoni. In certi casi la microfonicità si produce solo se nella musica c'è un determinato suono; tal-

volta è sufficiente il rumore di fondo dell'amplificatore, anche se basso, per causare il fenomeno. Montando il giradischi su molle, si evita che le vibrazioni sonore giungano al pick-up; è però anche necessario che le molle siano ben flessibili, cioè non siano dure.

Il problema della microfonicità non si limita ai giradischi; tutti gli apparecchi riproduttori debbono avere una sospensione elastica se vengono montati nello stesso mobile dell'altoparlante. Il pericolo della microfonicità sussiste anche quando il giradischi o il cambiadischi sono collocati in un mobile diverso da quello dell'altoparlante. Questo può verificarsi ad esempio quando altoparlante e apparecchio riproduttore sono posti su tavole troppo leggere, oppure quando giradischi e radioricevitore si trovano su un unico mobile o supporto oppure quando sono nelle immediate vicinanze l'uno dell'altro. Quando la microfonicità è forte può anche far uscire la puntina dal solco, il che è particolarmente spiacevole se si suonano dischi di novità per degli amici e si è dato un po' più di amplificazione del solito. Se la puntina esce dal solco senza che sia mai capitato prima, è opportuno verificare se ciò avviene per effetto di una reazione acustica a seguito di un eccesso di volume.

§ 6. Il cambiadischi

Fra i diversi modelli di cambiadischi esistono grandi differenze. La causa dipende dal fatto che ci sono molti modi per arrivare allo stesso scopo e benchè si sia tentati di credere, dal gran numero di brevetti esistenti, che siano stati utilizzati tutti, si constata continuamente che esiste ancora la possibilità di ulteriori innovazioni.

Il cambiadischi si distingue dal giradischi per la presenza di un dispositivo che riporta il braccio del pick-up verso l'esterno quando il disco è finito, che riappoggia la puntina all'inizio del disco successivo, che tiene i dischi in pila e libera al momento opportuno il disco di sotto per farlo scendere sul piatto. I cambiadischi possono inoltre adempiere altre funzioni che esamineremo qui appresso.

a) Selezione dei formati

Il braccio del pick-up deve poter determinare in un modo purchessia il momento in cui la puntina si trova al di sopra del primo solco del disco e può dunque esservi appoggiata. Se i dischi sono tutti dello stesso diametro, ad esempio 17 cm, il problema non presenta difficoltà. Poichè però la maggior parte dei cambiadischi sono previsti per dischi di diametro diverso, il braccio del pick-up deve avere la possibilità di essere guidato caso per caso. Questa regolazione si può fare per mezzo di un bottone (comando manuale) oppure per mezzo di un tasto di selezione che palpa il disco. I sistemi che regolano automaticamente il movimento del braccio del pick-up secondo il diametro dei dischi si dividono in due categorie; con la prima, i dischi dello stesso diametro debbono essere suonati di seguito; la seconda permette invece di suonare dischi di diametro diverso che si succedono in un ordine qualunque. Un vantaggio del cambio misto è di semplificare la manovra dell'apparecchio e di eliminare la possibilità di errori.

b) Rifiuto

La manovra di un bottone fa funzionare il dispositivo del cambio. La riproduzione del disco che si sta suonando viene così interrotta e scende sul piatto il disco seguente. Di solito il bottone di rifiuto è anche il bottone di avviamento.

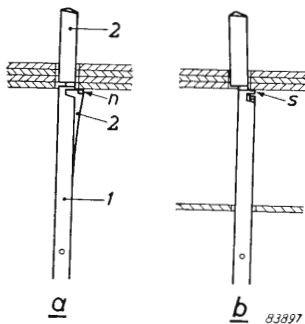



Fig. 52. Perno del cambiadischi per dischi a foro piccolo.

c) Ripetizione

La manovra del bottone di ripetizione fa sì che il disco che si sta suonando venga riprodotto una seconda volta. Esistono due possibilità, cioè che il pick-up venga rinviato all'inizio del disco non appena il bottone viene azionato oppure che il pick-up finisca il disco e poi lo ricominci.

d) Intervallo

Il bottone d'intervallo, se esiste, permette di regolare una pausa, in genere da 1 minuto a 5, fra la riproduzione di due dischi.

e) Arresto

Molti cambiadischi si fermano automaticamente quando è finito l'ultimo disco. In alcuni modelli l'ultimo disco viene ripetuto finchè l'ascoltatore non disinserisce l'apparecchio; in altri il braccio del pick-up si ferma in una posizione neutra ed è l'ascoltatore che deve azionare l'interruttore di rete. Alcuni cambiadischi hanno un bottone speciale manovrando il quale l'apparecchio si disinserisce automaticamente alla fine del disco che si sta suonando, anche se non si tratta dell'ultimo. Per altri cambiadischi invece è necessario per questo scopo portare a mano il braccio del pick-up nella posizione d'arresto.

f) Il ciclo del cambio

Per sollevare il pick-up, lasciare andare un nuovo disco e riappoggiarvi il pick-up occorrono circa 4 secondi se si tratta di dischi a 78 giri al minuto, circa 7 secondi con dischi a 45 giri ai minuto e circa 10 secondi con dischi a 33⅓ giri al minuto. Una maggiore rapidità può nuocere alla sicurezza del funzionamento; una maggiore lentezza è in linea di massima inutile ma non causa inconvenienti. In alcuni sistemi il tempo del cambio del disco è uguale per le tre velocità del piatto e si aggira sui 5 secondi circa.

La proprietà più importante di un cambiadischi è però la sicurezza di funzionamento. Non c'è nulla di più irritante di un cambiadischi che faccia dei capricci nei momenti più imprevisti. Purtroppo non è possibile dare regole generali che permettano di giudicare sulla sicurezza di funzionamento; se così fosse non sarebbe difficile fabbricare un buon apparecchio. Oltre al progetto hanno grande importanza l'attrezzatura della fabbrica e gli accorgimenti seguiti nella costruzione e nella spedizione. Prove di trasporto, di resistenza agli urti e di durata, permettono al fabbricante di acquisire un'esperienza tale che, se ben messa a profitto, può

contribuire a produrre un apparecchio che funziona in modo impeccabile per anni.

La scelta fra un giradischi e un cambiadischi non fa fatta dal punto di vista della sicurezza di funzionamento. Se ben concepiti, inoltre, non ci sono differenze fra i due apparecchi a proposito della riproduzione sonora. Il cambiadischi offre maggiore comodità e la possibilità di un ascolto continuato, apprezzato soprattutto quando si tratta di dischi a 78 e 45 giri al minuto. Un vantaggio del cambiadischi, vantaggio che si estende anche ai dischi di lunga durata, è che il pick-up viene appoggiato sul disco e sollevato con maggior delicatezza di quanto non si possa fare a mano, in modo che il pericolo di rigare il disco è praticamente escluso. Naturalmente anche i giradischi automatici presentano questo vantaggio, ma con l'appoggio automatico del pick-up, il prezzo diviene all'incirca uguale a quello di un cambiadischi. Alcuni esprimono il timore che con un cambiadischi, i dischi possano rompersi o il foro centrale deteriorarsi. Con un apparecchio ben concepito questo pericolo è minimo; nel corso di prove di laboratorio abbiamo **cambiato** diecine di dischi più di un migliaio di volte prima di constatare dei danni; è però opportuno dire che dopo tale prova i solchi erano assai logorati. Ciò che sappiamo per esperienza personale è che se i dischi vengono usati normalmente, in pratica non si sciupano e che un serio peggioramento della qualità di riproduzione risulterà piuttosto da rigature dovute fra l'altro a negligenza o a disattenzione nell'appoggiare il pick-up o alla presenza di polvere. L'impiego di un cambiadischi elimina per la massima parte la prima di queste cause.

Il problema del cambiadischi, che consiste nell'immagazzinare una pila di dischi e nel farli scendere uno ad uno, sarebbe relativamente semplice se i dischi avessero tutti uguale spessore, ma purtroppo non è così. In molti vecchi tipi di cambiadischi la pila di dischi appoggiava su alcune lame rientranti; quando un disco doveva scendere, le lame rientravano e ne uscivano altre poste un po' più in alto le quali si inserivano fra l'ultimo disco e il penultimo in modo che quando l'ultimo perdeva l'appoggio, il resto della pila restava sostenuto. In un secondo momento le lame più basse tornavano nella posizione iniziale, le lame superiori rientravano e la pila dei dischi scendeva per riappoggiarsi di nuovo sulle lame inferiori. Un inconveniente di questo metodo consisteva nel fatto che non era semplice adattare tale cambiadischi a dischi di diametro diverso, anche a non prendere in considerazione la possibilità di riprodurre automaticamente dischi di diametro diverso frammischiati. Un altro metodo nel quale lo spessore dei dischi è un elemento meno critico è quello che impiega un perno centrale ripiegato. I dischi appoggiano al cen-

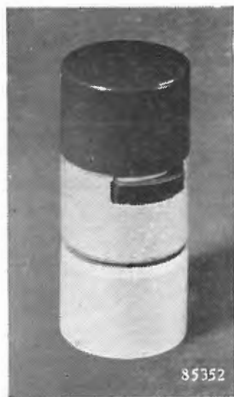



Fig. 53. Perno del cambiadischi per dischi a foro grande.

Fig. 54. Cambiadischi tipo AG 1000.

tro in un gomito del perno e al bordo su un ripiano laterale, risultando quindi in posizione inclinata. All'atto del cambio un dente va a premere sull'orlo del disco inferiore facendolo così scivolare dal gomito e cadere sul piatto seguendo il perno centrale. Benchè l'adattamento ai diversi diametri sia meno difficile con questa costruzione, resta l'inconveniente di non poter suonare dischi di diametro diverso frammischiati.

Nelle realizzazioni più moderne, i dischi appoggiano su un risalto del perno centrale e sono tenuti orizzontali di solito mediante un pressadischi. Il funzionamento del perno del cambiadischi Philips risulta dalla figura 52. Questo perno si compone di una parte fissa 1 e di una parte mobile 2. Nella posizione di riposo, o ascolto (fig. 52a), la pila di dischi appoggia sul risalto n della parte mobile. All'atto del cambio, la parte mobile del perno si sposta verso sinistra. Il disco inferiore della pila non può seguire questo movimento perchè trattenuto dal dente s della parte fissa (fig. 52b); poichè il risalto n rientra completamente, il disco inferiore perde l'appoggio e scende scorrendo lungo il perno. Il cuscinetto di aria sotto al disco che cade di piatto ne attutisce la caduta. Il resto della pila di dischi viene spostato dalla parte mobile del perno e va a posarsi sul dente s della parte fissa. Quando in un secondo tempo, alla fine del ciclo di cambio, la parte mobile torna nella posizione di riposo, o ascolto, i dischi abbandonano il dente s per andare di nuovo ad appog-

giarsi sul risalto n e in tal modo si torna alla situazione della fig. 52a. I movimenti del perno vengono comandati dal meccanismo di cambio. Il perno ora descritto deve essere sfilato dal piatto prima di togliere i dischi suonati. Con altri tipi di perni la parte mobile rientra quando si tolgono i dischi sfilandoli dal perno stesso e non è dunque necessario toglierе quest'ultimo. In tal caso occorre però fare attenzione a tenere i dischi ben orizzontalmente per evitare di danneggiare il foro centrale.

Lo spessore dei dischi è un elemento assai importante per tutti i perni azionati. Secondo proposte di normalizzazione internazionale, lo spessore dei dischi dovrebbe essere compreso fra 1,6 mm e 2,3 mm. Se i dischi sono troppo sottili, ad esempio 1 mm, il perno rischia di farne scendere due alla volta; se sono troppo spessi possono restare sospesi. Per tale motivo è importante che le tolleranze sullo spessore siano rispettate. E' la natura del procedimento dello stampaggio a richiedere che queste tolleranze siano piuttosto ampie. Piccoli fabbricanti di dischi di gomma lacca li fanno assai di sovente troppo spessi; talvolta i dischi di lunga durata, a buon mercato, sono troppo sottili. E' opportuno controllare con un calibro i dischi che si suppone escano dai limiti di tolleranza. Per i dischi a foro grande (38 mm, dischi a 45 giri al minuto) il problema delle tolleranze è meno acuto a causa della loro forma particolare. Gli speciali perni azionati necessari per questi dischi (fig. 53) sono provvisti di una coppia di palette e di una coppia sovrastante di lame che sostengono e fanno scendere i dischi nel modo descritto a pag. 83. Un altro sistema che si può usare per questi dischi prevede l'impiego di un perno dal quale sporge un certo numero di tamponi che immobilizzano i dischi; questo metodo è però poco adatto per i dischi a foro piccolo (7,2 mm) a causa dell'entità delle forze in giuoco e delle tolleranze del foro.

§ 7. Il dispositivo di cambio

In fatto di dispositivi per cambiadischi ne esiste una tale varietà che non possiamo che limitarci a qualche esempio, appartenente secondo noi alle realizzazioni più interessanti. La fig. 54 mostra il cambiadischi Philips tipo AG 1000. Il piatto portadischi (3) che è raffigurato trasparente, è mosso dal motore (1) mediante la ruota intermedia (2); è chiaramente visibile il sistema di leve che permette lo spostamento della ruota stessa. Il mozzo del piatto portadischi (4) presenta dei denti che possono ingranare nel piatto di comando (6). Nella posizione di riposo, o ascolto, i denti del mozzo ruotano liberamente in un piccolo settore senza denti esistente sul bordo del piatto di comando. Quando viene leggermente spostato dalla levetta d'innesto (5), che entra in funzione alla fine del disco (vedi fig. 50) oppure quando viene azionato l'apposito comando manuale di avviamento, il piatto di comando comincia a girare e descrive una rotazione completa. Per effetto di questo movimento, uno stelo che attraversa il perno del braccio del pick-up solleva il braccio stesso, dopo di che un piolo va a premere sul ramo di destra della leva di comando (7) che è solidale col braccio del pick-up e sposta entrambi verso l'esterno. Il piatto di comando mette quindi in movimento anche la parte mobile del perno centrale del piatto portadischi e fa scendere il

nuovo disco; poco dopo il piolo arriva sul ramo di sinistra della leva di comando, in modo che il pick-up viene ricondotto in dentro verso il disco e abbassato. I diversi elementi sono dimensionati in modo tale che la puntina viene appoggiata automaticamente nel solco d'ingresso dei dischi da 25 cm. Se invece scende un disco da 30 cm, questo tocca il selezionatore (8) e lo sposta leggermente indietro; una leva posta sotto si solleva e arresta il movimento di ritorno del braccio del pick-up nel momento in cui questo si trova nella posizione giusta per iniziare la riproduzione di un disco da 30 cm. Poichè il ramo di sinistra della leva di comando è in parte molleggiato, l'arresto è possibile senza danno per il meccanismo.

Per la riproduzione dei dischi da 17 cm davanti alla leva di comando va a porsi una leva ausiliaria che viene mossa da una coulisse quando si sposta l'apposito bottone.

L'arresto dell'apparecchio viene effettuato impedendo al braccio del pick-up di tornare verso l'interno dopo che ha raggiunto la posizione più esterna. Il braccio del pick-up quindi si abbassa e invece di posarsi sul disco va ad appoggiarsi sull'interruttore che ferma il motore. Questo sistema di arresto può essere ottenuto mediante la discesa del pressadischi (9) dopo il passaggio dell'ultimo disco, oppure mediante l'azionamento dell'apposito comando manuale.

Anche il cambiadischi AG 1004 funziona con un piatto di comando, ma la messa in solco della puntina viene fatta diversamente (vedi fig. 54a). Quando scende un disco da 25 cm, questo tocca il selezionatore (1) che viene in tal modo spinto in basso per un breve tratto ed ivi fermato. In tale posizione il selezionatore, che è munito di un gancio, contrasta con un risalto posto sul braccio del pick-up impedendogli di superare un certo limite nel suo movimento verso l'interno, ossia arrestandolo in una certa posizione. Le cose sono disposte in modo che, quando il braccio del pick-up si abbassa, la puntina viene a trovarsi esattamente in corrispondenza del solco d'ingresso dei dischi da 25 cm. Quando scende un disco da 30 cm il selezionatore viene abbassato maggiormente e trattenuto in questa posizione più bassa; in tali condizioni il braccio del pick-up, nel movimento di rientro descritto nella seconda parte del ciclo di cambio, viene arrestato prima ed esattamente al di sopra del solco d'ingresso dei dischi da 30 cm. Quando scende un disco da 17 cm questo non tocca il selezionatore e

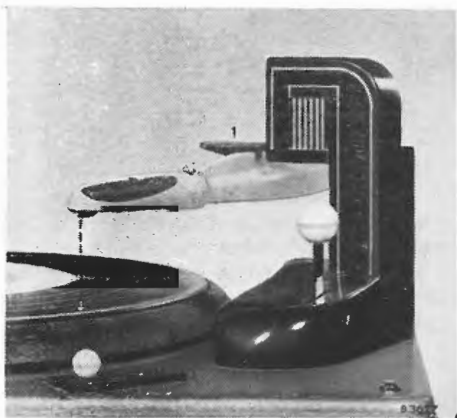



Fig. 54a. Dispositivo selezionatore del cambiadischi tipo AG 1004.

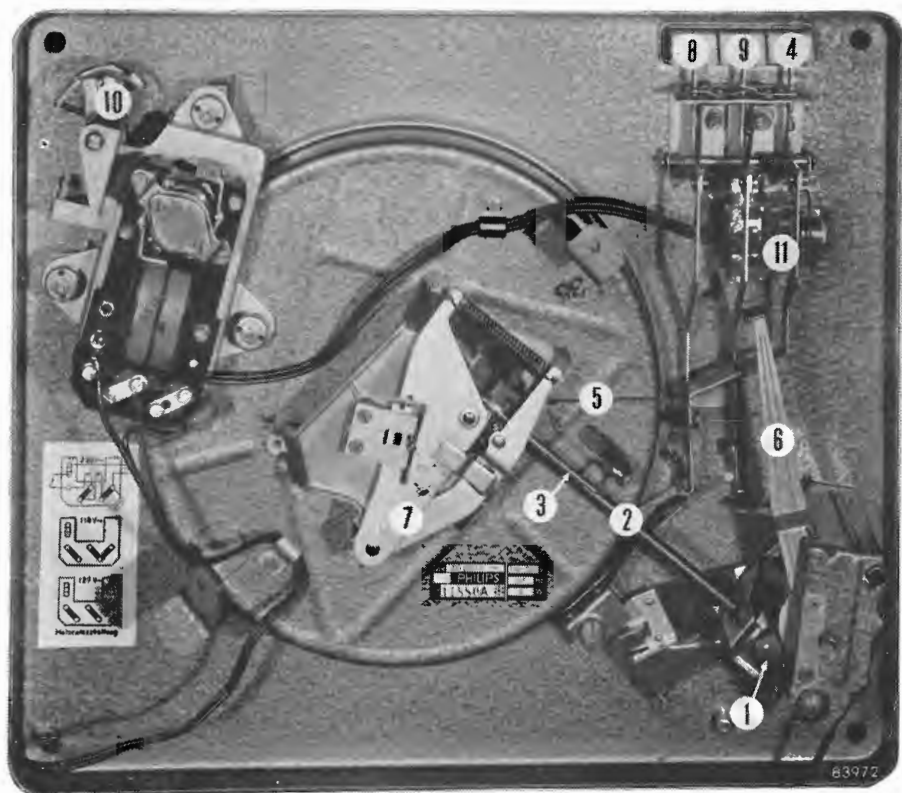



Fig. 55. Meccanismo del cambiadischi tipo AG 1003.

pertanto il braccio del pick-up è libero di rientrare totalmente.

Il meccanismo del cambiadischi tipo AG 1003 è basato su altri principi. In questo cambiadischi, che funziona anche come giradischi automatico, i movimenti verticali e orizzontali del braccio del pick-up sono comandati da un tamburo non cilindrico (visibile parzialmente in 1 nella fig. 55). Questo tamburo durante il ciclo di cambio compie una rotazione completa. Esso solleva una mensola sulla quale è fissato uno stelo che alza il braccio del pick-up dal disco; quindi una leva solidale col perno verticale del braccio del pick-up e di cui un'estremità è guidata da un profilo di camma del tamburo, viene da questo messa in movimento; per conseguenza il braccio del pick-up si sposta verso l'esterno e rientra non appena un nuovo disco è sceso sul piatto.

Il tamburo di comando viene mosso per mezzo dell'albero 2 da una ruota dentata che ingrana in una vite senza fine posta sul mozzo del piatto portadischi. Alla ruota dentata mancano alcuni denti, in modo che durante la rotazione del piatto la vite senza fine può girare a vuoto nel vano ivi esistente. Nel vano può però disporsi uno speciale pezzo d'accoppiamento che porta uno dei denti mancanti. All'inizio del ciclo di cambio questo pezzo si porta nel vano e accoppia così la ruota dentata alla vite senza fine. Dopo che la ruota dentata ha compiuto un giro, il pezzo d'accoppiamento disimpegna il vano, la vite senza fine riprende a girare a vuoto e l'albero 2 si arresta. Il pezzo d'accoppiamento è comandatō dalla levetta 3. Quando si preme sul pulsante d'avviamento 4, la leva a zeta 5 sposta la levetta 3 la quale pone il pezzo d'accoppiamento nel vano della ruota dentata. Oltre che manualmente, questo movimento si effettua anche automaticamente: alla fine di un disco la leva 6, trascinata ad attrito dal braccio del pick-up, tocca la levetta 3; durante il movimento lento del braccio del pick-up verso l'interno, cioè mentre il disco suona ancora, il pezzo d'accoppiamento, che effettua degli spostamenti minimi (sospinto dalla levetta 3), viene continuamente respinto da un profilo di camma posto sotto il piatto portadischi, ma nel momento in cui la puntina esce dall'ultimo solco musicale del disco, la leva ad attrito 6 si muove a velocità maggiore e la levetta 3 viene spostata di un tratto sufficiente a portare il pezzo d'accoppiamento nel vano della ruota dentata. Una puleggia calettata sull'albero 2 e munita di un apposito profilo di camma sposta, nel corso del ciclo di cambio, le due lame a forbice 7 che azionano il perno che sostiene i dischi; conseguentemente il disco inferiore si libera e scende sul piatto (fig. 52).

Un selezionatore che esce dalla colonna, detta di comando, viene toccato dal disco durante la discesa verso il piatto e **segnala** il diametro del disco a una piccola staffa che ferma il braccio del pick-up durante il movimento di rientro nell'istante in cui la puntina arriva al di sopra del solco d'ingresso del disco in questione. Il pick-up arriva dunque al posto voluto in modo del tutto automatico, sia che si tratti di un disco da 17 cm, sia che si tratti di un disco da 25 cm oppure da 30 cm. La manovra può però essere fatta anche a mano, abbassando più o meno il pulsante 8; se infatti l'utilità di un cambiadischi è fuori discussione per dischi di durata da 3 a 9 minuti, per i dischi di lunga durata può capitare assai spesso di doverne suonare uno solo e benchè il cambiadischi appoggi il pick-up sul disco con maggiore delicatezza di quanto non si possa fare a mano, posare il disco sul piatto mettendo in funzione il meccanismo del cambiadischi è una complicazione che si cerca di evitare. Con l'apparecchio sopra descritto il disco viene posto sul piatto a mano e il pick-up viene appoggiato sul disco automaticamente; in tal modo si raggiunge lo scopo speditamente e senza pericolo di danneggiare il disco. Le cose sono disposte in modo che una volta terminata la riproduzione, il pick-up si solleva automaticamente. Naturalmente, se si vuole, il pick-up può anche essere appoggiato a mano sul disco e sollevato a mano, in modo che è possibile suonare solo parti determinate di un disco. Il cambiadischi AG 1003 è quindi anche un giradischi normale e au-

tomatico. Col pulsante 9 si esclude il cambiadischi in qualunque momento. La leva 10 sposta la ruota intermedia per cambiare la velocità del piatto. In 11 si vede l'interruttore del motore; quando il braccio del pick-up arriva sul supporto, per effetto del suo peso fa scendere uno stelo che apre l'interruttore; la molla visibile a destra in 11 chiude l'interruttore quando si preme il pulsante d'avviamento 4.

CAPITOLO VIII
AMPLIFICATORI

§ 1. Potenza e distorsione

Le tensioni e le correnti fornite da un pick-up sono troppo depoli per poter essere applicate direttamente ad un altoparlante e debbono perciò essere amplificate; questo viene fatto negli amplificatori, che possono essere muniti di valvole o di transistor. Per il funzionamento di tali organi rimandiamo il lettore alle pubblicazioni specializzate sull'argomento.

E' certo che il transistor avrà in avvenire un ruolo importante nei grammofoni elettrici; i principali vantaggi che esso presenta sono il non aver bisogno di tensione di accensione e la possibilità di funzionare con una sola tensione continua di valore basso, 6 o 12 V ad esempio. Lo scrivente ritiene che senza alcun dubbio la fonovaligia con motore a molla e con riproduttore acustico verrà soppiantata completamente nel prossimo avvenire dai grammofoni elettrici con amplificatori a transistor, funzionanti con poche pile da lampadine tascabili e con la possibilità di suonare anche dischi di lunga durata. Si potranno quindi suonare i dischi con usura minima e con buona qualità di riproduzione anche quando manca la rete di distribuzione dell'energia elettrica. Per i preamplificatori il transistor presenta vantaggi evidenti derivanti dalla bassa tensione occorrente e dalla mancanza di filamento, il che riduce molto il pericolo di ronzio (hum). Anche per lo stadio finale, che deve fornire una potenza relativamente elevata per assicurare una buona qualità di riproduzione, sono già disponibili i transistor adatti.

In tutti gli amplificatori si possono distinguere le parti seguenti:

Lo stadio d'uscita, dove vengono prodotte tensioni e correnti sufficientemente elevate per far funzionare l'altoparlante. Il trasformatore d'uscita, che adatta l'impedenza dell'altoparlante a quella della valvola finale, ha una funzione analoga a quella del gruppo di trasmissione su un'automobile; questo trasformatore fa sì che il trasferimento dell'energia dalla valvola finale all'altoparlante venga effettuato nel miglior modo possibile. Un'auto le cui ruote motrici fossero accoppiate direttamente all'albero motore non potrebbe praticamente muoversi e se la demoltiplica del gruppo di trasmissione fosse molto grande, si muoverebbe a velocità molto bassa.

Il preamplificatore, che amplifica la tensione fornita dal pick-up in modo da renderla sufficiente a pilotare lo stadio finale.

Il controllo di tono, che permette di correggere le imperfezioni nell'equilibrio dei toni.

Il controllo di volume o di livello sonoro, col quale si regola l'intensità sonora.

Un circuito di controreazione, che riduce la distorsione non lineare e talvolta anche la distorsione lineare.

L'alimentazione, che fornisce le tensioni continue e alternate per gli stadi amplificatori.

Di solito tutti questi elementi non sono separati ma sono montati su un unico chassis; in alcuni casi con parte del preamplificatore e con i

regolatori di tono e di volume si realizza un'unità separata, chiamata preamplificatore; la parte rimanente del circuito descritto viene in tal caso chiamata amplificatore d'uscita. Ognuno degli elementi menzionati è importante dal punto di vista della qualità di riproduzione e quando uno solo di essi è insufficiente, l'insieme non può mai risultare perfetto.

Le condizioni cui deve soddisfare un amplificatore grammofonico sono numerose; i dati più noti di tali amplificatori sono la caratteristica di frequenza e la potenza d'uscita, le quali sono strettamente collegate fra loro.

Poichè alle frequenze più basse corrispondono le ampiezze di vibrazione più grandi, è a tali frequenze che l'amplificatore deve fornire le potenze maggiori. Per essere adatto alla riproduzione delle frequenze più basse, un amplificatore deve quindi non solo avere una caratteristica di frequenza sufficientemente rettilinea a tali frequenze ma anche essere in grado di fornire una potenza sufficiente e sufficientemente indistorta da inviare nell'altoparlante. A titolo di esempio diciamo che un amplificatore con una potenza di 3 W è sufficiente anche per un locale grande se la riproduzione delle note basse comincia a 80 c/s, ma occorrerà un amplificatore della potenza di 10 W se si parte da 30 c/s. Nel caso in cui la gamma di risposta dell'amplificatore da 3 W arrivi anch'essa a 30 c/s e supponendo che i due amplificatori siano regolati sullo stesso volume, in assenza di note basse nella musica non si noterà differenza; ma la differenza sarà assai netta se nella musica ci sono note basse.

Questo permette di spiegare ad esempio, perchè un amplificatore che non distorce con un certo pick-up manifesta bruscamente della distorsione con un pick-up che riproduce meglio le note basse. Benchè noto, è spesso il migliore dei due pick-up ad essere incolpato, a torto, per la distorsione dovuta in realtà alle possibilità troppo limitate dell'amplificatore. Quando si sceglie un amplificatore di qualità, è opportuno non prenderlo di potenza troppo piccola; le cifre date sopra, benchè siano solo approssimative e dipendano anche dal rendimento dell'altoparlante, possono essere prese come dato orientativo.

Spesso di un amplificatore s'indica la potenza che può dare con una distorsione, ad esempio, del 5% misurata alla frequenza di 1000 c/s; un'indicazione del genere non è però completa perchè è possibile che alle frequenze più alte il limite di distorsione di cui sopra venga raggiunto con una potenza sensibilmente più bassa, o perchè la controreazione non funziona a frequenze elevate, oppure perchè la sensibilità dell'amplificatore si abbassa, oppure perchè diviene necessario aumentare la tensione d'ingresso a un valore tale da causare distorsione già nel primo stadio. Un trasformatore d'uscita troppo piccolo influisce anch'esso sulla potenza che può essere fornita all'altoparlante senza distorsione, specialmente alle note basse.

Nella fig. 56a sono riportate le curve della potenza d'uscita col 5% di distorsione di un amplificatore buono e di un amplificatore cattivo. Nella fig. 56b le curve dei due amplificatori sono rappresentate in modo diverso: su questo secondo grafico le curve indicano la distorsione alle diverse potenze e frequenze; la differenza fra i due amplificatori risulta così

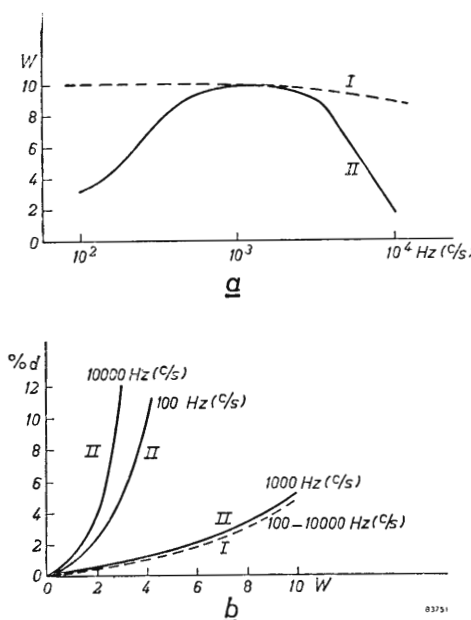



Fig. 56. Potenza e distorsione di due amplificatori differenti.

messa in evidenza più chiaramente.

Come abbiamo già detto a proposito dei pick-up, la distorsione d'intermodulazione dà un'idea più chiara, rispetto alla distorsione misurata con una sola nota, delle proprietà di un impianto di riproduzione. La distorsione d'intermodulazione si misura di solito applicando simultaneamente a un amplificatore due tensioni, una di frequenza bassa e una di frequenza elevata, la prima di ampiezza quadrupla rispetto alla seconda. Spesso si usano le frequenze di 100 c/s e 4000 c/s, ma per gli amplificatori ad alta fedeltà si prendono assai spesso frequenze molto più distanti fra loro, ad esempio 25 c/s e 20000 c/s che rivelano ancora meglio le proprietà degli amplificatori, anche perchè queste due frequenze si trovano in zone critiche. Per misurare la distorsione d'intermodulazione, si determinano, mediante un circuito che presenta molte analogie col circuito rivelatore di un radioricevitore, le intensità dei suoni uscenti dall'amplificatore di frequenze uguali alla somma e alla differenza delle frequenze applicate. Il rapporto espresso in percento fra tali suoni e il segnale di frequenza più elevata è il tasso d'intermodulazione.

La fig. 57a rappresenta i due segnali di prova separati, la fig. 57b il segnale risultante come applicato all'implificatore e la fig. 57c mostra il segnale distorto come si ottiene all'uscita dell'amplificatore. Il suono di frequenza più bassa viene eliminato mediante un filtro in modo da lasciare solo l'oscillazione rappresentata nella fig. 57d. Il paragone fra le figure 57a e d mette chiaramente in mostra la distorsione; per parlare in linguaggio radio, il suono di frequenza elevata viene modulato dall'oscillazione di bassa frequenza, a frequenza doppia, e la distorsione d'intermodulazione è la profondità di modulazione del segnale di frequenza più elevata, cioè:

$$\text{I M} = \frac{\text{A} - \text{B}}{\text{A} + \text{B}} \times 100 \ (\%)$$

dove A è uguale a due volte l'ampiezza massima dell'oscillazione riprodotta in d e B due volte l'ampiezza minima.

Si suole talvolta dare la curva d'intermodulazione degli amplificatori

in funzione della potenza prodotta. Su questo argomento però i tecnici non sono ancora completamente d'accordo; alcuni sostengono che la distorsione maggiore si verifica negli istanti in cui il segnale somma dei due segnali è massimo ed è perciò per quegli istanti che deve essere calcolata la potenza di punta dell'amplificatore. La tensione ai capi dell'altoparlante vale allora $V_l + V_h$ e la potenza è in tal caso uguale a:

$$\left(\frac{V_l + V_h}{\sqrt{2}}\right)^2 : Ra.$$

dove V_l e V_h sono rispettivamente le ampiezze dei segnali di bassa e di alta frequenza ed Ra l'impedenza dell'altoparlante. Se $V_l = V_h$, la potenza di punta è uguale a 12,5 V_h^2/Ra.

Altri calcolano la potenza media d'uscita e questa è uguale a:

$$\left[\left(\frac{V_l}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{V_h}{\sqrt{2}}\right)^2\right] : Ra$$

sostituendo di nuovo a V_l $4\,V_h$ si trova per la potenza media il valore di 8,5 V_h^2/Ra. In genere è l'intermodulazione in funzione della potenza di punta che viene menzionata.

Nella fig. 58 è riportata la curva d'intermodulazione (a tratto continuo) di un amplificatore ad alta fedeltà, tipo AG 9000; questa curva si compone di un primo tratto quasi orizzontale raccordato piuttosto bruscamente a un tratto quasi verticale. In generale si ammette che la distorsione da intermodulazione non è percettibile se non supera il 2%; perciò negli amplificatori ad alta fedeltà il punto che vi corrisponde si cerca di portarlo alla potenza più alta possibile, senza preoccuparsi se al di là la distorsione aumenta molto rapidamente. Negli amplificatori ordinari la prima parte della curva è meno orizzontale e la seconda meno verticale (curva a tratti della fig. 58).

Fig. 57. Distorsione d'intermodulazione
a) I due segnali di prova
b) Il segnale risultante
c) La tensione d'uscita distorta
d) Il suono alto distorto.

Grosso modo si ammette che la distorsione d'intermodulazione di un buon amplificatore la cui curva di distorsione è quasi rettilinea (vedi fig. 56)

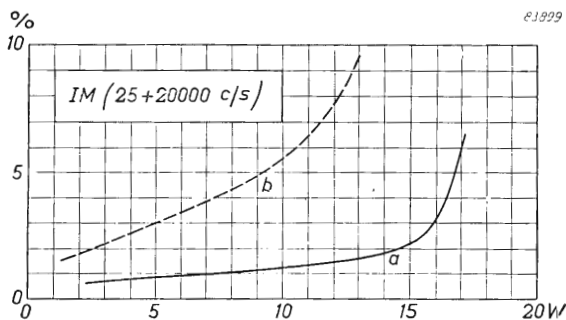



Fig. 58. Curve d'intermodulazione: a) amplificatore tipo AG 9000 b) amplificatore normale.

è approssimativamente 3 4 volte maggiore della distorsione non lineare misurata con una sola frequenza, o distorsione semplice. Ciò significa dunque che per avere una riproduzione indistorta occorre che la distorsione semplice non superi lo 0,5%, il che è cosa ben diversa dal 5% o dal 10% degli amplificatori normali.

Oltre alla distorsione d'intermodulazione si conosce anche la distorsione da battimento (beat note distorsion) che ha con la precedente una stretta relazione; per misurare la distorsione da battimento si prendono però delle frequenze variabili e precisamente si procede con due suoni di uguale intensità, il primo si fa variare con continuità da 3000 c/s a 20000 c/s, ad esempio, e il secondo si fa variare, anch'esso con continuità, tenendolo però ad ogni istante ad una frequenza di 1000 c/s più bassa. Il battimento che ne risulta ha quindi una frequenza costante di 1000 c/s; il segnale somma delle due frequenze varia da 5000 c/s a 39000 c/s, ma è il primo quello che si prende in considerazione e benchè il metodo di misura abbia molte analogie con quello dell'intermodulazione, i risultati possono differirne considerevolmente. Questo metodo, ancora assai poco diffuso, permette di rivelare difetti che sfuggono nella misura dell'intermodulazione (ma non all'orecchio).

§ 2. Impulsi sonori e vibrazioni ultrasonore

L'asserzione che la caratteristica di frequenza di un amplificatore ad alta fedeltà debba restare rettilinea anche al di fuori della gamma delle frequenze udibili non viene sempre accettata senza discussioni. Infatti non è evidente che deviazioni della caratteristica in corrispondenza di frequenze così elevate o così basse da non poter essere percepite, e che per di più non sono presenti nella musica, possano influire sulla riproduzione; si è constatato però che se ad esempio la curva di risposta cade ripidamente a 25000 c/s, il suono riprodotto acquista una tonalità un po' troppo acuta, esattamente come avviene quando la caratteristica di riproduzione cade ripidamente a una frequenza alta ancora udibile. Il fenomeno è dovuto al verificarsi di rotazioni di fase nella zona di caduta della caratteristica e la sua spiegazione esce dal quadro del presente volume; naturalmente questo effetto si manifesta solo se il pick-up lavora ancora alle frequenze più elevate. Il risultato a prima vista inatteso di questo fenomeno è che il rumore di fondo dei dischi è più debole e di frequenza più bassa in un amplificatore la cui caratteristica di riproduzione sia sufficientemente rettilinea fino a 50000 c/s che in un

amplificatore la cui curva di risposta cada ripidamente a partire da 20000 c/s o presenti una punta di risonanza a tale frequenza.

Nella zona delle basse frequenze occorre fare attenzione particolarmente alle risonanze che si verificano alle frequenze al disotto della gamma udibile. Se il pick-up è sensibile anche a frequenze così basse, vibrazioni di frequenze troppo basse per essere udibili, causate ad esempio dal movimento di una persona nel locale o dal passaggio di un autoveicolo per la strada, possono essere amplificate al punto da sovraccaricare l'amplificatore e distorcere saltuariamente in modo inesplicabile la musica. Anche quando un suono inizia o cessa bruscamente può provocare oscillazioni di risonanza con conseguente sovraccarico dell'amplificatore.

Per la riproduzione ad alta fedeltà la curva di risposta dell'amplificatore deve essere compresa entro 2 dB da 20 c/s a 20000 c/s ed entro 6 dB da 10 c/s a 50000 c/s; inoltre non debbono esserci risonanze apprezzabili in tutto l'intervallo fra 10 c/s e 50000 c/s; questa condizione non è semplice ma può essere soddisfatta.

Cosa particolarmente importante è anche una conveniente riproduzione degli impulsi sonori. I suoni di molti strumenti musicali iniziano in modo repentino per spegnersi poi lentamente; ne sono esempi evidenti alcuni strumenti a percussione; anche nel violino però, quella che viene udita come una nota unica non è che una serie di impulsi successivi. La riproduzione di tali impulsi può essere influenzata da diversi fattori. Se una parte dell'amplificatore accusa una risonanza e amplifica dunque in misura maggiore i segnali di un certo intervallo di frequenze, la caratteristica dell'amplificatore presenta una punta a tali frequenze.

Applicando un segnale impulsivo all'amplificatore, questo non solo riproduce il suono che vi corrisponde (fig. 59a) ma si mette anche a oscillare sulla frequenza di risonanza, in modo che il suono desiderato risulta accompagnato da una perturbazione (fig. 59b); la causa dipende dal fatto che la parte risonante del circuito viene messa in oscillazione dal brusco inizio o termine dell'impulso e come il bilanciere di un orologio può oscillare a lungo per effetto di una sola spinta, anche l'oscillazione di risonanza può durare più a lungo del suono che l'ha provocata.

Si producono risonanze quando nei circuiti, oltre alle capacità, ci sono anche delle induttanze (bobine). Un cablaggio mal disposto può dare origine a un'induttanza che, unitamente alla capacità di un condensatore di disaccoppiamento, può oscillare a una frequenza udibile; in particolare può anche esserne la causa l'induttanza inevitabile del condensatore di disaccoppiamento. Un'induttanza di 1 mH (millihenry) accoppiata a una capacità di 0,5 μF entra in risonanza a 7000 c/s e valori d'induttanza e di capacità di quest'ordine di grandezza si incontrano con una certa facilità. Le capacità parassite del trasformatore d'uscita possono anch'esse provocare risonanze dannose insieme all'induttanza degli avvolgimenti. Perciò il calcolo di un buon trasformatore d'uscita è uno dei punti più difficili nel progetto di un amplificatore.

I segnali considerati qui sopra sono segnali di misura e di prova; i suoni impulsivi della realtà hanno piuttosto il carattere della fig. 59c.

Mentre la fig. 59b lascerebbe prevedere che sono soprattutto le oscillazioni parassite che compaiono alla fine dell'impulso a disturbare, perchè non risultano più mascherate in un certo grado dal suono stesso, in realtà avviene che poichè la fine degli impulsi musicali non è così repentina come quella degli impulsi di prova, sono soprattutto i transitori che si verificano all'attacco ad avere importanza. Due amplificatori di uguale potenza e di identica caratteristica di frequenza che presentano punte di risonanza, possono dare risultati musicali del tutto differenti. Inoltre se in un amplificatore i suoni, ad esempio, di violino risultano alterati, se ne può talvolta ricercare la causa nella non buona risposta ai transitori.

Le risonanze possono essere dannose anche se si verificano a frequenze superiori a quelle udibili. Lo smorzamento delle oscillazioni di risonanza è lento e inoltre tali oscillazioni sono accompagnate da altre oscillazioni di frequenze più basse, le quali possono venire a trovarsi nella gamma udibile. Qualcosa di simile si verifica nei trasmettitori radio a scintilla che sono udibili in tutta una gamma di frequenze e non solo sulla loro lunghezza d'onda di funzionamento. Lo stesso avviene per i parassiti radio che, anche se sono più forti per una lunghezza d'onda determinata, disturbano però tutta una gamma di onde radio e principalmente la gamma delle basse frequenze (lunghezze d'onda maggiori).

§ 3. Ronzìo e rumore di fondo.

E' a giusto titolo che si esige da un amplificatore di riprodurre solo ciò che gli viene applicato; il ronzìo (hum) e il rumore di fondo (noi-

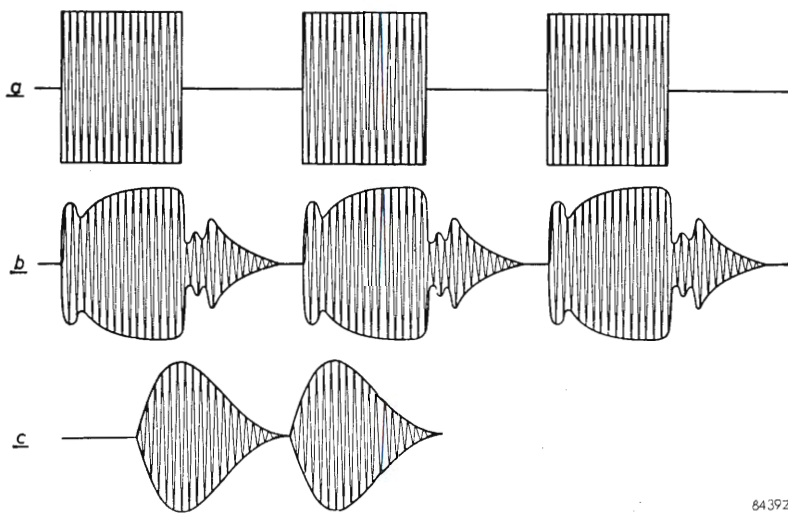



Fig. 59. Distorsione degli impulsi sonori:
a) Il segnale non distorto b) Il segnale distorto c) Suono musicale

se) debbono risultare più bassi possibile, il che non è sempre facile da ottenere. Anzitutto ogni valvola amplificatrice o transistor ed ogni resistenza dà origine a un certo rumore di fondo. Se l'amplificazione è piuttosto forte questo rumore di fondo può divenire udibile, il che può verificarsi negli amplificatori ad elevata sensibilità richiesti ad esempio per i pick-up elettrodinamici. In secondo luogo, nelle valvole amplificatrici produce ronzìo l'alimentazione in corrente alternata dei filamenti e ne causa anche il residuo di corrente alternata sempre presente nella tensione continua ottenuta mediante raddrizzamento della tensione alternata della rete di illuminazione. I campi magnetici ed elettrici provenienti dal trasformatore di alimentazione o dalla rete di distribuzione possono dar luogo anch'essi a una piccola tensione alternata all'ingresso dell'amplificatore.

L'esperienza ha mostrato che un amplificatore da 10 W in cui il livello dei rumori sia 60 dB al disotto di tale potenza può essere considerato come praticamente esente da disturbi. In questo caso in presenza di musica non si percepisce nè ronzio nè rumore di fondo; è solo quando il pick-up non è appoggiato sul disco e quindi manca anche il rumore del disco che si percepiranno un po' i disturbi, ma per questo occorrerà avere anche buone orecchie. In tali condizioni l'altoparlante riceve una potenza di 0,00001 W (= 0,01 mW); se per avere una potenza d'uscita di 10 W occorre applicare 0,1 V all'ingresso dell'amplificatore, la tensione d'ingresso che produce un livello di disturbi di 0,01 mW è 1000 volte più piccola cioè 0,0001 V, o 0,1 mV. Poichè in ogni amplificatore ci sono tensioni alternate di 200 V o più, occorre che lo schermaggio sia tale che all'ingresso dell'amplificatore arrivi meno della metà di un milionesimo di queste tensioni; per tale motivo in un amplificatore i collegamenti debbono essere studiati con molta cura e una buona terra è assai importante; infatti in uno chassis non messo a terra le eventuali perdite, ad esempio, di un condensatore di filtraggio possono provocare delle intollerabili tensioni indotte di ronzio nei conduttori d'ingresso dell'amplificatore. Le condizioni cui deve soddisfare il filtraggio della tensione anodica debbono essere anch'esse assai severe se si vuole che i valori di cui sopra siano rispettati.

E' bene osservare che se l'amplificatore ha un ronzìo troppo forte, la tensione di ronzìo modula in parte lo stadio finale e quindi in presenza di segnali forti questo può risultare sovraccaricato prima. Nel caso in cui l'altoparlante non riproduca le frequenze più basse, le condizioni da soddisfare da parte del filtraggio e dello schermaggio sono meno severe, ma un ronzìo troppo forte può provocare una distorsione di cui non si scopre facilmente la causa, appunto perchè il ronzio stesso non è udibile.

§ 4. Controllo di tono

Poichè la caratteristica di frequenza secondo cui vengono registrati i dischi non è lineare, è necessario che nel riproduttore grammofonico siano previste delle correzioni. Inoltre anche se queste correzioni sono effettuate a dovere, può presentarsi la necessità di una regolazione supplementare tanto delle note basse che di quelle alte, il che può anche

essere questione di gusto personale; molti ascoltatori preferiscono accentuare alquanto (talvolta molto) le note basse e altri preferiscono variare alquanto le note alte. Le proprietà acustiche del locale d'ascolto hanno anch'esse la loro influenza sul tono finale; infine si constata che dischi ufficialmente incisi secondo la stessa caratteristica di registrazione, presentano talvolta fra loro differenze di una certa entità. Il regolatore manuale di tono serve di complemento alla correzione fissa; l'uno e l'altra possono essere ottenuti mediante circuiti comprendenti resistenze, condensatori e bobine. In un buon amplificatore però non s'impiegano mai bobine perchè, a causa delle capacità sempre presenti, possono facilmente dare origine a risonanze a frequenze udibili; si ricorre quindi unicamente a sistemi di resistenze e condensatori.

La caratteristica di frequenza di un amplificatore può essere modificata in diverse maniere. Nel circuito di controreazione si può inserire un sistema di resistenze e di condensatori che determina un aumento o una diminuzione della controreazione in un intervallo determinato di frequenze rispetto ad altre e quindi un indebolimento o un rinforzo dell'amplificazione. Questo metodo non viene però molto usato negli amplificatori di qualità, perchè può provocare una certa instabilità e perchè la risposta ai transitori peggiora. Perciò di solito nel normale circuito amplificatore vengono incorporati dei filtri, preferibilmente nei punti a basso livello di segnale, perchè un filtro di tono che viene immediatamente dopo una valvola amplificatrice di guadagno relativamente elevato influenza la risposta ai transitori.

La correzione e il controllo di tono sono più costosi di quanto non si pensi perchè i gruppi di resistenze e condensatori servono solo ad attenuare certe tensioni più di certe altre. Il cosiddetto rinforzo dei bassi o degli alti consiste nell'attenuare le tensioni corrispondenti in misura minore delle tensioni relative alle frequenze rispettivamente più alte o più basse. Se ad esempio le note basse debbono essere rinforzate di 12 dB rispetto alle note medie ed alte, ciò significa che la regolazione di tono attenuerà queste ultime di 12 dB e che per modulare a fondo le valvole finali occorrerebbero quindi 12 dB di amplificazione in più di quanti ne occorrerebbero senza regolazione di tono.

Il problema più impegnativo sotto questo punto di vista è la realiz-

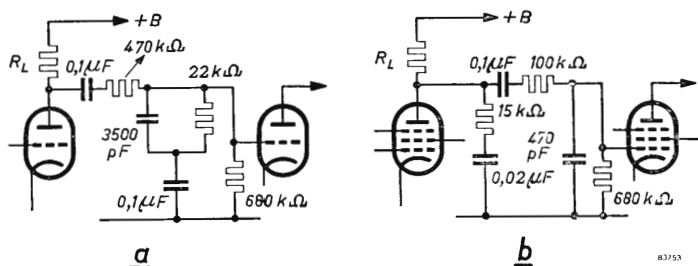



Fig. 60. Filtri per la correzione di riproduzione.
a) a triodo b) a pentodo

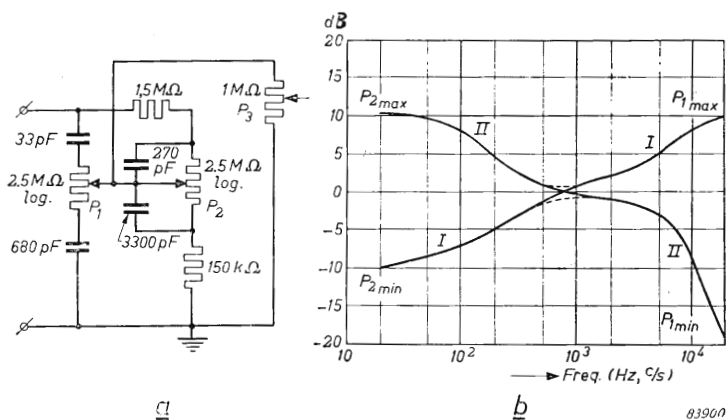



Fig. 61. Circuito per la regolazione separata degli alti e dei bassi.

zazione di una correzione conforme alla caratteristica di riproduzione. Come risulta dalla fig. 37, questa richiede un rinforzo di circa 18 dB per i bassi, il che comporta una diminuzione di circa 8 volte delle grandezze elettriche (correnti e tensioni) in giuoco rispetto ad una caratteristica ad andamento orizzontale. Se il filtro di correzione è posto prima dell'amplificatore, la tensione fornita dal pick-up diviene troppo piccola e in tal modo il ronzìo e il rumore di fondo dell'amplificatore risultano troppo marcati; è dunque preferibile amplificare prima la tensione fornita dal pick-up, non troppo però per non alterare la risposta ai transitori. Per tale motivo in un buon amplificatore il guadagno nello stadio di correzione non supera il valore di 3-4.

La fig. 60 riproduce degli schemi di principio di due stadi di correzione, in a per l'impiego di un triodo, in b di un pentodo. Entrambi sono calcolati per la caratteristica C.E.I. (1 sulle fig. 37 e 38). E' evidente che le correzioni elettriche di riproduzione non sono sempre necessarie, specialmente quando nel pick-up è già stato previsto un certo grado di correzione meccanica e/o acustica. Un esempio viene fornito dalla curva di riproduzione del pick-up AG 3013 per dischi di lunga durata; la sola correzione necessaria in questo caso è una certa attenuazione degli alti, essendo superfluo il rinforzo dei bassi.

Nei casi più semplici il controllo di tono è costituito dal controllo degli alti realizzato inserendo, in parallelo sul trasformatore d'uscita, un condensatore fisso in serie con una resistenza variabile; questo permette solo di variare più o meno l'attenuazione delle note alte. Impiegando un pick-up a caratteristica ascendente per le note alte, la curva di risposta resta sollevata quando la resistenza variabile è massima; quando questa è minima, la riproduzione degli alti si abbassa di una certa quantità. I valori di capacità e di resistenza più usati in un amplificatore normale sono 5000 pF e 0,1 megaohm, ma per un amplificatore di qualità questo sistema di controllo di tono è assai poco adatto.

Non tutti i pick-up hanno una caratteristica ascendente verso le frequenze elevate; inoltre in qualche caso è desiderabile, oltre alla regolazione degli alti, anche una regolazione dei bassi; parlando poi di riproduzione ad alta fedeltà, la regolazione dei bassi è indispensabile per compensare le differenze fra i dischi di diverse caratteristiche. Nella fig. 61 è riportato un circuito che permette di regolare separatamente i bassi e gli alti. Questo filtro di tono dà un'attenuazione di circa 20 dB a 1000 c/s e le curve tracciate sulla fig. 61b si riferiscono all'impiego di un pick-up con una capacità interna di 2000 pF.

La perdita totale di amplificazione causata dal controllo di tono e dal correttore di riproduzione ammonta a circa 38 dB e ne consegue che occorrerà assai spesso una valvola amplificatrice in più. In questo caso la soluzione migliore è di riunire in un unico stadio il regolatore di tono e il correttore di riproduzione; un complesso del genere, con un guadagno complessivo uguale a 4, è rappresentato nella fig. 62. Naturalmente da questo stadio si potrebbe ottenere un'amplificazione maggiore, ma si andrebbe incontro al rischio di oscillazioni dannose che influenzerebbero sfavorevolmente la riproduzione.

§ 5. Controllo di volume

Anche sul controllo di volume resta ancora una parola da dire. Lo orecchio umano non è sensibile in misura uguale a tutte le frequenze e precisamente la sensibilità è massima per le frequenze centrali della gamma udibile e diminuisce per le frequenze alte e soprattutto per quelle più basse. Questo fenomeno è rappresentato graficamente nella fig. 63 la quale mostra che ad elevata intensità sonora (1), come quella prodotta da un grammofono che suona a pieno volume (col pericolo di impor-

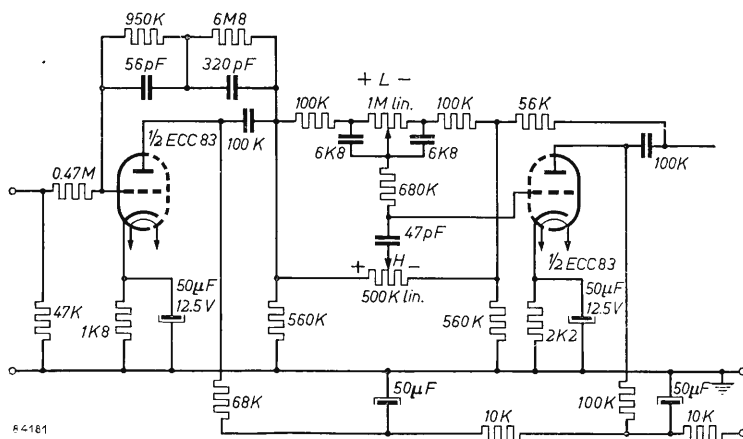



Fig. 62. Preamplificatore con controllo di tono e correttore di riproduzione.

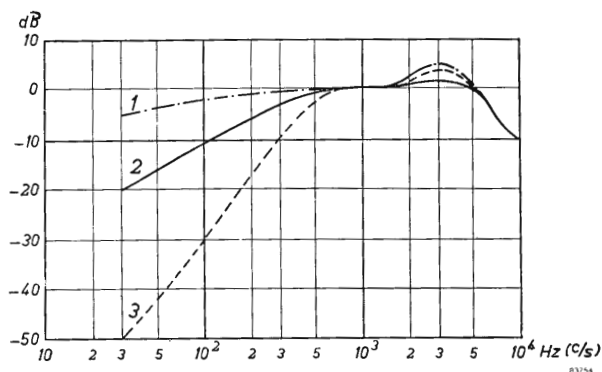



Fig. 63. Caratteristica di sensibilità dell'orecchio:
1) Intensità sonora elevata 2) Intensità sonora normale 3) Intensità sonora bassa.

tunare i vicini), le differenze di sensibilità sono relativamente piccole. A bassa intensità sonora, corrispondente alla riproduzione grammofonica più discreta (3), la sensibilità dell'orecchio alle frequenze più basse è considerevolmente diminuita. La seconda delle tre curve (2) rappresenta all'incirca il livello di ascolto normale.

Da questa figura risulta che abbassando il volume di un grammofono elettrico, non solo si diminuisce l'intensità sonora ma si altera l'equilibrio dei toni; per conservare lo stesso **colorito,** se si riduce il volume sonoro occorre dunque agire sul controllo di tono. A basso volume sonoro però non è necessario e nemmeno desiderabile correggere completamente la perdita di sensibilità alle frequenze più basse; lo stesso effetto si manifesta infatti anche nell'ascolto di musica originale, ad esempio all'approssimarsi di una fanfara; quando la fanfara è lontana la musica ci sembra piatta, quando è vicina più piena e colorita. E' in parte su questo effetto che si basa la nostra facoltà di stimare la distanza che ci separa da una sorgente sonora e se si tenta di compensare interamente questo effetto fisiologico, il risultato finale ci appare snaturato e non molto gradevole al nostro gusto.

Prendendo la curva 2 della fig. 63 come riferimento, possiamo dire che alle grandi intensità i bassi si possono alquanto attenuare, ma non più di 5 dB a 100 c/s, e per una riproduzione in sordina si può ammettere una correzione che non superi 10 dB a 100 c/s.

Alcuni apparecchi radio ed amplificatori sono provvisti del cosiddetto controllo di tono fisiologico; girando la manopola di volume per ridurre il volume stesso, si attenuano i bassi un po' meno dei medi e degli alti. Per gli amplificatori grammofonici il controllo di volume fisiologico presenta l'inconveniente di non funzionare bene che per un solo tipo di pick-up; per altri tipi di pick-up, a tensione di uscita più alta o più bassa, l'azione del controllo fisiologico risulterebbe rispettivamente troppo forte o troppo debole. Per tale motivo il controllo di tono fisiologico è im-

piegato di rado nei riproduttori grammofonici. Anche il locale dove funzione l'impianto ha una grande influenza sul risultato finale perchè per una determinata posizione del controllo di volume l'intensità del suono è minore in un locale grande che in uno piccolo.

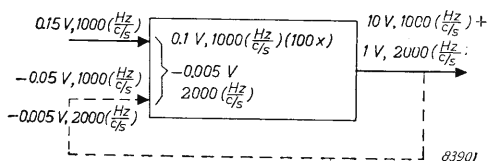



Fig. 64. Rappresentazione schematica della controreazione.

§ 6. Controreazione

Un elemento importante del circuito amplificatore, talvolta citato negli annunci pubblicitari, che però non dice nulla al profano, è la controreazione, il cui compito principale è di ridurre la distorsione non lineare. Spieghiamo con un esempio come si giunge a questo risultato. Supponiamo che all'ingresso di un amplificatore sia applicata una tensione di 0,1 V, frequenza 1000 c/s; supponiamo inoltre che l'amplificazione sia uguale a 100 e che la distorsione armonica di ordine 2 sia uguale al 10%. In tali condizioni all'uscita dell'amplificatore si avrà una tensione utile di 10 V, frequenza 1000 c/s, e una tensione nociva di distorsione di 1 V, frequenza 2000 c/s. La 1/200 parte della tensione d'uscita viene riapplicata all'ingresso in modo da opporsi alla tensione d'ingresso originale, cioè in opposizione di fase. All'ingresso dell'amplificatore ci sarà pertanto 0,1 V — 0,05 V = 0,05 V a 1000 c/s e 0,005 V a 2000 c/s. E' chiaro che per effetto di questa controreazione la tensione d'uscita diminuisce di metà e per mantenerla allo stesso livello, si deve portare la tensione d'ingresso dell'amplificatore a 0,15 V (vedi fig. 64) perchè la tensione agente risultante sia di nuovo uguale a 0,15 V — 0,05 V = 0,1 V. La tensione di 0,005 V, 2000 c/s, amplificata 100 volte dall'amplificatore diviene 0,5 V all'uscita dell'amplificatore ed ha senso opposto alla tensione di distorsione iniziale presente all'uscita. Questa scende così a 1 V — 0,5 V = 0,5 V in modo che all'ingresso dell'amplificatore non viene riportata una tensione di distorsione di 0,005 V ma di 0,0025 V. La compensazione della distorsione risulta così inferiore a quanto previsto in un primo tempo e la distorsione finale si porta al 6,66%, invece del 10% come sarebbe stata senza controreazione. Anche l'amplificazione totale scende ai 2/3 dell'amplificazione iniziale, in tal modo è necessaria una maggior preamplificazione.

Nel caso considerato la diminuzione della distorsione è piccola, ma se si riportasse in entrata 1/20 della tensione d'uscita, invece di 1/200, la distorsione scenderebbe all'1,6%, il che vale certo la pena. E' vero che l'amplificazione si ridurrebbe anch'essa a un sesto, ma poichè la maggior parte della distorsione viene prodotta nello stadio finale, la perdita di amplificazione può essere compensata senza conseguenze dannose sviluppando il preamplificatore.

Questo non vuol dire che il metodo di riduzione della distorsione sopra descritto non sollevi problemi o difficoltà. Abbiamo detto che una

parte della tensione d'uscita deve essere riportata all'ingresso in modo da opporsi alla tensione d'ingresso originale, cioè in opposizione di fase; questa condizione deve verificarsi per tutte le frequenze da amplificare. Se per una ragione qualunque, tensioni di frequenze determinate risultano soggette non a controreazione ma a reazione positiva, è facile mostrare col metodo sopra illustrato che l'amplificazione invece di diminuire aumenta e lo stesso avviene per la distorsione. Non solo la caratteristica di frequenza ne risulta deformata ma, se la reazione è troppo forte, l'amplificatore rischia di diventare instabile e di mettersi a oscillare; se ciò avviene a una frequenza udibile, si capisce abbastanza facilmente di cosa si tratta, se però la frequenza dell'oscillazione non è udibile, questa può caricare, o sovraccaricare, l'amplificatore determinando distorsione nella riproduzione senza che si riesca a capire il perchè.

Occorre dunque superare diverse difficoltà nella realizzazione di un circuito di controreazione per amplificatori ad alta fedeltà, in quanto questi richiedono una forte controreazione per ridurre notevolmente la distorsione non lineare, lavorando su una gamma di frequenze assai estesa.

Facendo dipendere la controreazione dalla frequenza, si può influire sulla caratteristica di frequenza dell'amplificatore e apportarvi delle correzioni; la forma della caratteristica può quindi essere variata a piacere regolando opportunamente la controreazione. Questo metodo di regolazione del tono non è però impiegato negli amplificatori ad alta fedeltà, che operano fino alle frequenze più elevate, perchè se il campo di regolazione è piuttosto grande, aumenta il pericolo d'instabilità (oscillazioni) e la risposta ai transitori peggiora.

Altro vantaggio della controreazione è che se dopo avere riprodotto un suono determinato, l'altoparlante continua a vibrare per un certo tempo, nella bobina mobile vengono indotte delle tensioni che sono riportate dal circuito di controreazione all'ingresso

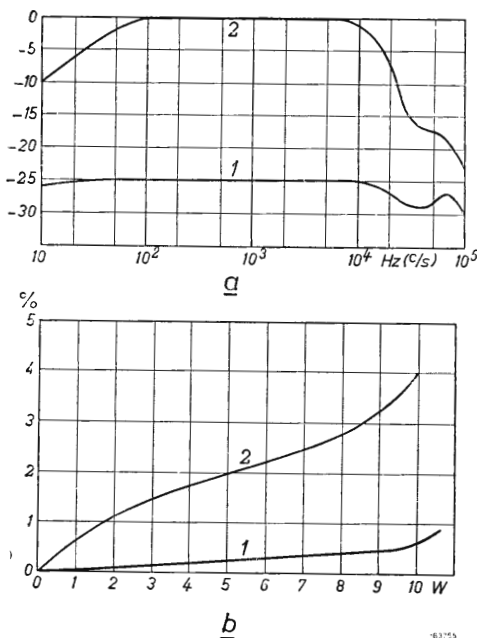



Fig. 65. Effetto della controreazione: a) Caratteristica di frequenza (1) con e (2) senza controreazione. b) Distorsione (1) con e (2) senza controreazione.

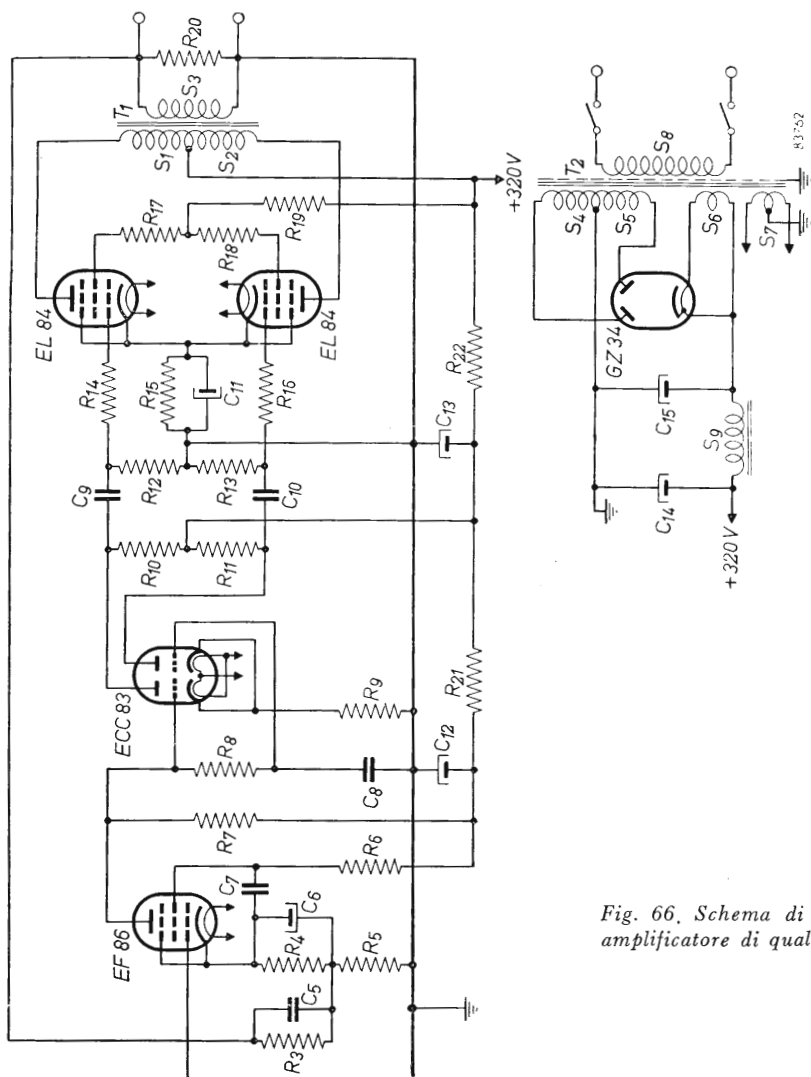



Fig. 66. Schema di un amplificatore di qualità.

Fig. 66. Schema di un amplificatore di qualità.

R_3	2,2 kΩ	¼ W	R_{19}	27 kΩ		1 W
R_4	2,2 kΩ	¼ W	R_{20}	3,9 kΩ		¼ W
R_5	10 Ω	¼ W	R_{21}	1 kΩ		½ W
R_6	1 MΩ	¼ W	R_{22}	47 kΩ		½ W
R_7	180 kΩ	1 W				
R_8	1,2 MΩ	¼ W	C_5	1500 pF		mica
R_9	68 kΩ	½ W	C_6	100 µF	12,5 V	elettrolitico
R_{10}	0,1 MΩ	½ W	C_7	47000 pF	400 V	carta
R_{11}	0,1 MΩ	½ W	C_8	0,1 µF	400 V	carta
R_{12}	0,33 MΩ	¼ W	C_9	0,1 µF	400 V	carta
R_{13}	0,33 MΩ	¼ W	C_{10}	0,1 µF	400 V	carta
R_{14}	1 kΩ	¼ W	C_{11}	100 µF	25 V	elettrolitico
R_{15}	130 Ω	3 W	C_{12}	50 + 50 µF	355/400 V	
R_{16}	1 kΩ	¼ W	C_{13}			
R_{17}	220 Ω	¼ W	C_{14}	50 + 50 µF	355/400 V	
R_{18}	220 Ω	¼ W	C_{15}			

Trasformatori:

T_1 Trasformatore d'uscita, tipo AD 9000
T_2 Trasformatore d'alimentazione, 2 × 280 V, 130 mA; 6,3 V, 2 A, 5 V, 1,9 V
S_9 Bobina d'arresto, tipo 7833: L = 8 H, R = 200 Ω, I_{max} = 115 mA.

dell'amplificatore per tornare attraverso questo all'altoparlante. La loro influenza determina la soppressione delle vibrazioni spurie dell'altoparlante, in modo che la riproduzione degli impulsi sonori risulta migliorata.

§ 7. Schemi di amplificatori

La controreazione può essere realizzata in diverse maniere sulle quali però non ci soffermiamo perchè usciremmo dal quadro di questo libro. Se tutto è fatto bene si possono ottenere risultati eccezionali; questo è illustrato nella fig. 65 che riproduce (a) la caratteristica di frequenza e (b) la distorsione di un amplificatore:

1. con controreazione
2. senza controreazione.

Queste curve si riferiscono allo schema riprodotto nella fig. 66. La tensione di controreazione viene prelevata sul secondario del trasformatore d'uscita e applicata all'ingresso dell'amplificatore. I valori delle resistenze R3 ed R5 sono tali che all'ingresso viene riportato circa 1/200 della tensione d'uscita. L'amplificazione in assenza di controreazione è uguale a 1250, con controreazione a 170 ed è dunque ridotta ad 1/7 circa; lo stesso avviene per la distorsione. Il condensatore C5 ha il compito di mantenere la controreazione nella fase giusta anche alle frequen-

ze più elevate. Allo scopo di ottenere una riproduzione di qualità vengono impiegati, praticamente senza eccezioni, solo amplificatori in push-pull i quali presentano diversi vantaggi, principalmente quello di produrre minore distorsione e maggiore potenza; inoltre le dimensioni del trasformatore d'uscita possono essere più piccole che nel caso dell'impiego di una sola valvola finale.

Nello schema della fig. 66 è da notare che la maggior parte degli stadi sono accoppiati fra loro direttamente e non mediante condensatori o trasformatori; questo ha lo scopo di migliorare il più possibile la riproduzione delle frequenze più basse. I condensatori e i trasformatori infatti determinano un'attenuazione di queste frequenze e possono anche provocare rotazioni di fase che disturbano la controreazione. In questo schema la griglia del triodo di sinistra della valvola ECC83 viene a trovarsi a tensione positiva, ma scegliendo una resistenza di catodo di valore opportunamente elevato (68000 ohm) si ottiene una polarizzazione sufficientemente elevata perchè la griglia risulti negativa rispetto al catodo; così anche per il triodo di destra. La sezione di sinistra della valvola ECC83 funziona come amplificatrice normale. Il condensatore C8 ha il compito di mettere a massa le tensioni alternate. Ai capi della resistenza R9, invece, compaiono delle tensioni alternate perchè R9 non è disaccoppiata; la controreazione totale ne risulta aumentata. La tensione alternata fra griglia e catodo del triodo di destra è in opposizione di fase con la tensione alternata fra griglia e catodo del triodo di sinistra e le tensioni ai capi di R10 ed R11 sono per conseguenza in opposizione di fase, come richiesto per il pilotaggio dello stadio finale sim-

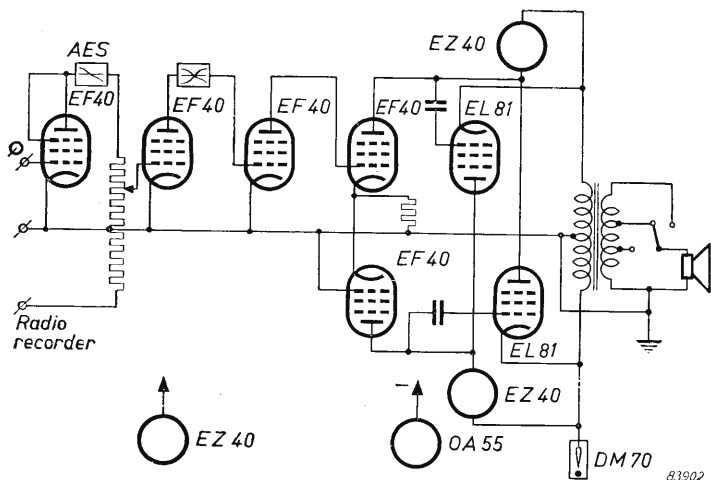



Fig. 67. Schema di principio dell'amplificatore ad alta fedeltà tipo AG 9000.

metrico. Questo stadio finale è accoppiato alla ECC83 mediante condensatori per impedire che la tensione anodica della valvola ECC83 arrivi alle griglie delle valvole finali.

Un progetto di esigenze maggiori è stato realizzato per l'amplificatore tipo AG 9000 del quale la fig. 67 rappresenta lo schema di principio. Questo amplificatore ha due ingressi: R per la radio o il magnetofono, ∅ per il pick-up;

Fig. 68. Amplificatore tipo AG 9000.

l'ingresso per il pick-up è collegato ad una valvola amplificatrice speciale che è seguita da un filtro per la correzione di riproduzione. Un potenziometro permette di inserire la valvola seguente sull'ingresso radio-magnetofono o sull'ingresso fono corretto; fra questa valvola e la successiva è inserito il controllo di tono. Speciali precauzioni sono prese nei due stadi per impedire la comparsa di oscillazioni spurie. Viene poi uno stadio amplificatore-invertitore di fase che è analogo in linea di principio a quello della fig. 66. Lo stadio simmetrico finale è di tipo non convenzionale perchè il trasformatore d'uscita è inserito fra i catodi; questo sistema d'inserzione del trasformatore presenta dei vantaggi, fra l'altro nel calcolo del trasformatore stesso. Le tensioni anodiche sono fornite da tre raddrizzatrici separate, in parte per ridurre al minimo il ronzìo, in parte perchè l'impiego di più raddrizzatrici influisce favorevolmente sulla stabilità dell'amplificatore.

La caratteristica di riproduzione di questo amplificatore è regolabile a mezzo di due manopole (vedi fig. 68) in maniera visibile, perchè la rotazione delle manopole modifica una curva, che compare dietro una scala di frequenze, in maniera analoga alla caratteristica. Quando si suonano dischi registrati secondo una caratteristica diversa da quella per la quale l'amplificatore è corretto, l'ascoltatore dispone di un mezzo di regolazione per ottenere il giusto equilibrio dei toni e nello stesso tempo

di un autocontrollo che gli rivela immediatamente la sua tendenza ad esagerare sia in un senso che nell'altro nella riproduzione dei gravi e degli acuti. In definitiva il piacere dell'ascolto ne viene aumentato.

Dietro una piccola finestra visibile a sinistra, si illumina una lampadina nei momenti in cui l'amplificatore eroga il massimo di potenza senza distorsione; questo serve di avvertimento per ridurre il volume se la musica presenta passaggi più forti.

In questo amplificatore c'è da notare inoltre il grosso trasformatore d'uscita. Il trasformatore d'uscita è un elemento estremamente importante; se è troppo piccolo, le frequenze più basse vengono riprodotte troppo debolmente e distorte. E' un errore però, che si fa assai spesso, pensare solo alle frequenze basse, perchè anche alle frequenze più alte sussistono alcune difficoltà. La prima in ordine d'importanza è che gli avvolgimenti del trasformatore presentano non solo una certa induttanza, ma anche una certa capacità; con l'induttanza di dispersione del trasformatore stesso, questa capacità parassita può formare un circuito accordato che non solo influenza sfavorevolmente la caratteristica di frequenza ma può anche alterare completamente la controreazione. L'induttanza di dispersione si rappresenta come una piccola bobina in serie col trasformatore ed è dovuta al fatto che anche nel miglior trasformatore, l'accoppiamento fra gli avvolgimenti primario e secondario non è mai perfetto. In un buon trasformatore con un'induttanza al primario, ad esempio, di 50 H, l'induttanza di dispersione non supera i 50 mH. Con un'induttanza di dispersione di 50 mH, la capacità parassita del trasformatore e delle valvole amplificatrici finali che vi sono collegate non deve a sua volta superare i 180 pF affinchè la frequenza di risonanza cada al di sopra dei 50000 c/s. Pertanto la capacità parassita e l'induttanza di dispersione debbono avere valori più bassi possibile, il che richiede metodi speciali di bobinatura ma porta ugualmente a trasformatori di grosse dimensioni. Per i trasformatori degli amplificatori con stadio finale simmetrico c'è un'altra condizione da osservare e cioè che le due metà debbono essere rigorosamente identiche. Tutto questo fa sì che un trasformatore d'uscita per alta fedeltà risulta piuttosto caro e alcuni tipi costano press'a poco come un piccolo apparecchio radio.

E' interessante citare che sono stati recentemente sviluppati alcuni circuiti che non richiedono trasformatore d'uscita, coi quali però occorre impiegare altoparlanti ad alta impedenza. Coi circuiti ordinari questo non è possibile perchè i valori delle impedenze di adattamento sono dell'ordine di grandezza di 5000 ohm e più e bobine mobili per altoporlanti elettrodinamici di impedenza così alta non si possono realizzare. I valori di impedenza di carico per i circuiti senza trasformatore d'uscita sono di solito compresi fra 400 e 1000 ohm.

I vantaggi offerti dagli stadi d'uscita senza trasformatore sono una minore distorsione lineare e non lineare su una estesa gamma di frequenze.

CAPITOLO IX-A

ALTOPARLANTI - FUNZIONAMENTO E PROPRIETA'

§ 1. L'altoparlante elettrodinamico

L'altoparlante ha la funzione di convertire in vibrazioni sonore le oscillazioni elettriche fornite dall'amplificatore; le condizioni cui deve soddisfare l'altoparlante sono uguali a quelle di tutti gli altri anelli della catena grammofonica e cioè: rendimento elevato, bassa distorsione e una curva di risposta estesa e il più possibile lineare; negli altoparlanti la condizione più difficile da raggiungere è appunto quest'ultima.

Come per i pick-up, anche per gli altoparlanti si utilizzano diversi principi di funzionamento. Fra pick-up e altoparlanti ci sono alcune analogie e alcune differenze; fra queste ultime la più sensibile è una differenza d'impiego, nel senso che se è impossibile usare più di un pick-up alla volta, l'uso di più altoparlanti insieme è possibile e in certi casi frequente. Prima di illustrare questo punto, passiamo ad esaminare più da vicino i vari sistemi secondo cui sono realizzati gli altoparlanti.

In ordine d'importanza gli altoparlanti si distinguono nei seguenti tipi:

1. elettrodinamici,
2. elettrostatici,
3. a cristallo
4. elettromagnetici.

Lo **ionophone** basato sulla scarica nei gas, gli altoparlanti a filamento e ad arco ed altri tipi che non vengono impiegati nei riproduttori grammofonici, non sono compresi nella nostra descrizione.

I tipi che esamineremo sono basati sugli stessi principi di funzionamento dei pick-up elettrodinamici, a condensatore, a cristallo e magnetici. Fino a circa 25 anni fa l'altoparlante elettromagnetico è stato senz'altro il tipo più importante, ma verso quell'epoca è stato completamente soppiantato dall'altoparlante elettrodinamico e non viene più praticamente impiegato per riproduzioni di qualità. Gli altoparlanti a cristallo e a condensatore hanno avuto molta diffusione in questi ultimi anni come altoparlanti speciali per gli alti, in combinazione con altoparlanti elettrodinamici, ma recenti realizzazioni lasciano prevedere che l'avvenire potrebbe portare di nuovo dei cambiamenti.

Il principio di funzionamento di tutti questi altoparlanti consiste nel far vibrare una membrana, la quale a sua volta trasmette le vibrazioni all'aria; le differenze fra i vari tipi di altoparlanti consistono soprattutto nel modo come questo viene realizzato. Nel pick-up elettrodinamico, una bobina si muove in un campo magnetico e per conseguenza diviene sede di una tensione indotta; la stessa cosa avviene in una dinamo o in un generatore di energia elettrica. Inversamente, se ad una bobina immersa in un campo magnetico viene applicata una tensione, la bobina si sposta ed è appunto su questo principio che sono basati tanto il

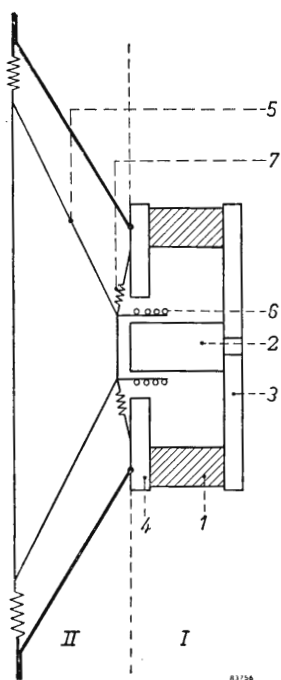



Fig. 69. Altoparlante elettrodinamico: 1) Magnete, 2) Nucleo, 3) e 4) Piastre polari, 5) Cono, 6) Bobina mobile, 7) Centratore.

motore elettrico che l'altoparlante elettrodinamico. Mentre però il motore elettrico e la dinamo hanno un aspetto esterno assai simile, per i pick-up e gli altoparlanti questo non avviene. Le forze che muovono la bobina del pick-up sono estremamente piccole; per l'altoparlante invece le forze in giuoco sono molto maggiori e i suoi diversi elementi molto più robusti, il che è necessario per il fatto che per far vibrare l'aria occorrono forze relativamente grandi.

Secondo la sezione dell'altoparlante elettrodinamico riportata nella fig. 69, osserviamo che questo si compone di un sistema magnetico I e di una membrana II. Il sistema magnetico è costituito da un magnete permanente 1, da un nucleo di ferro dolce 2 e da due piastre polari 3 e 4 anch'esse di ferro dolce. Fra la piastra polare 4 e il nucleo c'è uno spazio d'aria detto traferro nel quale, per effetto del magnete permanente, si stabilisce, attraverso le piastre polari e il nucleo, un campo magnetico intenso. La membrana è costituita da un cono che porta al vertice una piccola bobina che può muoversi nel traferro del sistema magnetico. Il cono è tenuto a posto da un anello elastico di centraggio 7 e dal bordo esterno, fissati entrambi al cestello dell'altoparlante.

Quando nella bobina mobile (6) passa corrente, la bobina si sposta in avanti o in dietro a seconda del senso della corrente. Quando viene percorsa da una corrente alternata, la bobina descrive dunque un moto di va e vieni e il cono al quale è unita altrettanto; questi spostamenti hanno la stessa frequenza della corrente alternata e la loro grandezza è proporzionale all'intensità della corrente. Se le alternanze della corrente corrispondono esattamente ai movimenti originali della puntina del pick-up, i movimenti del cono risulteranno anch'essi identici a quelli della puntina e la stessa cosa si verificherà per le vibrazioni sonore che ne risultano.

Purtroppo ancora una volta accade che le leggi fisiche rendano dura la vita dell'ingegnere (giustificandone però così la sua ragione d'essere) perchè sollevano alcune difficoltà assai imbarazzanti. Il cono si muove perchè nella bobina mobile passa corrente e naturalmente occorre che gli spostamenti del cono siano per quanto possibile proporzionali a questa corrente. Ora, c'è una formula che dice che la forza K che si esercita sulla bobina mobile è uguale a 0,1 Hil, dove H è l'intensità del campo magnetico nel traferro in corrispondenza della bobina mobile, i

la corrente che la percorre ed l la lunghezza totale del filo avvolto. La lunghezza del filo, naturalmente, è costante e perchè la forza K sia sempre proporzionale alla corrente i, occorre che l'intensità H del campo magnetico nel traferro sia anch'essa costante. La figura 70 mostra ingranditi il traferro, la piastra polare superiore ed il nucleo. Le linee tratteggiate rappresentano le linee di forza magnetiche; si vede chiaramente che l'intensità del campo è massima al centro del traferro e decresce a destra e a sinistra; questo implica dunque che nei movimenti di va e vieni, se gli spostamenti divengono troppo grandi, la bobina non si trova più in un campo costante e per conseguenza la forza che si esercita su di essa invece di essere proporzionale alla corrente, sarà minore. A meno che non vengano prese misure speciali, gli altoparlanti elettrodinamici presentano dunque della distorsione al di sopra di una certa intensità sonora.

Per evitare questa distorsione si possono seguire due vie. In primo luogo si può allungare la bobina mobile in modo da farla uscire dal campo magnetico ad entrambe le estremità; il campo che l'attraversa resta allora costante anche per i maggiori spostamenti che si verificano in pratica. Questo sistema presenta l'inconveniente che il peso totale del cono ne risulta accresciuto, il che è nettamente pregiudizievole alla riproduzione degli acuti; inoltre le spire che sono fuori dalla parte più intensa del campo non contribuiscono, o contribuiscono assai poco, alla formazione della forza che muove il cono, ma provocano delle perdite dovute alla loro resistenza. Un'altra soluzione consiste nel dare al traferro una lunghezza maggiore di quella della bobina mobile, in modo che questa si sposti sempre nella parte del campo dove l'intensità è quasi costante. Questo metodo non influisce sulla riproduzione degli acuti nè sul rendimento, ma richiede un magnete più grosso, il che si ripercuote sul prezzo dell'altoparlante. E' il metodo seguito per altoparlanti di qualità, come i tipi 9758, 9762 e 9710.

Fig. 70. Campo magnetico nel traferro di un altoparlante elettrodinamico: 2) Nucleo, 4) Piastra polare, 5) Cono, 6) Bobina mobile.

Il magnete è un elemento fondamentale dell'altoparlante perchè ne determina la sensibilità; il rendimento di un altoparlante è infatti direttamente proporzionale al quadrato dell'intensità del campo magnetico nel traferro ed è quindi importante che questa sia più alta possibile. E' facile però comprendere che uno stesso magnete produce un campo più intenso in un traferro più stretto (piccola distanza fra il nucleo e il bordo interno della piastra polare forata) che in uno più largo. La larghezza del traferro è

Fig. 71. Rappresentazione schematica della distribuzione sonora su un cono di grande diametro.

determinata in primo luogo dallo spessore della bobina e poichè la bobina non deve mai toccare nè il nucleo nè la piastra polare, la precisione con la quale sono fabbricati la bobina e il centratore ha anch'essa molta importanza. Se la fabbricazione è molto precisa e se sono prese adatte misure per impedire che la bobina e il centratore si deformino con l'uso, si può adottare un traferro stretto e per conseguenza un magnete piccolo per ottenere un determinato rendimento; altrimenti il traferro più largo richiede un magnete più grosso.

Altro fattore assai importante è la qualità dell'acciaio magnetico, che è misurata dal prodotto BHmax. Negli acciai d'anteguerra questo prodotto valeva circa 1 milione; con gli acciai Ticonal moderni si raggiungono valori che arrivano a 7 milioni. E' evidente quindi che le dimensioni e il peso del magnete non costituiscono in se stessi una misura per la sensibilità di un altoparlante; il peso può costituire una base di paragone solo se si conoscono le dimensioni del traferro e il tipo di acciaio, a condizione naturalmente che il magnete sia realizzato a regola d'arte. Occorre aggiungere che anche le proprietà del ferro dolce impiegato per le piastre polari e per il nucleo hanno la loro importanza; poichè questo materiale diviene sempre meno efficace man mano che aumenta la densità del flusso, è assai difficile ottenere nel traferro un'intensità di campo superiore a 13000 gauss.

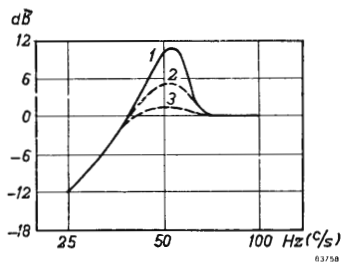
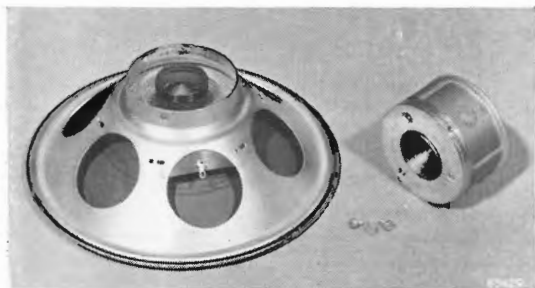



Fig. 72. La risonanza fondamentale di: 1) un altoparlante normale; 2) un altoparlante con copertina di tela; 3) un altoparlante con cuscinetto d'aria.

Il cono è la parte più delicata dell'altoparlante. Mentre il sistema magnetico si presta abbastanza bene al calcolo, la realizzazione del cono non è solo una questione teorica ma anche e molto di esperienza pratica. Il cono dell'altoparlante elettrodinamico è fatto di carta speciale, trattata con vernici apposite per renderla anigroscopica; queste vernici hanno influenza anche sulle proprietà acustiche. Il cono che vibra fa vibrare l'aria circostante; come abbiamo già detto nel Capi-

Fig. 73. Altoparlante tipo 9710; si noti il prolungamento a punta del cono e l'incavo nel nucleo.

tolo IV, paragrafo 6, queste vibrazioni alle basse frequenze sono grandi ma relativamente lente, alle frequenze elevate, piccole e rapide. Più grande è il cono, meglio smuove l'aria, più elevato risulta il rendimento dell'altoparlante; questo si riferisce soprattutto ai suoni bassi perchè gli spostamenti relativamente lenti del cono hanno presa insufficiente sull'aria quando il cono è piccolo; pertanto per una buona riproduzione dei bassi, un altoparlante a cono grande è la migliore soluzione. Teoricamente non sarebbe impossibile una buona riproduzione dei bassi per mezzo di un cono piccolo, ma gli spostamenti sarebbero così grandi che inevitabilmente darebbero luogo a distorsione dei suoni.

Per la riproduzione degli alti è sufficiente un cono più piccolo e inoltre un cono grande non è adatto perchè troppo pesante e per conseguenza con troppa inerzia per poter seguire vibrazioni estremamente rapide. Il diametro massimo ammissibile per il cono diminuisce man mano che le frequenze da riprodurre crescono ma, e il caso non fa le cose sempre così bene, la natura ci viene in aiuto in questa circostanza e fa in modo che non è necessario avere un gran numero di altoparlanti differenti per riprodurre uno spettro intero di frequenze. La cosa più importante che si verifica è che alle frequenze elevate è soprattutto la parte centrale del cono a vibrare; mentre alle basse frequenze, fino a 1000 c/s circa, il cono si sposta tutto insieme come un complesso rigido, alle frequenze più elevate vibra solo la parte centrale, che diventa sempre più piccola man mano che cresce la frequenza.

Nella fig. 71 il cono è idealmente suddiviso in quattro parti, per ognuna delle quali è indicata la gamma di frequenze relativa. Questa rappresentazione non è però del tutto esatta; i suoni alti si propagano lungo il cono come vibrazioni e per certe frequenze può accadere che in un certo istante una parte del cono si porti in avanti e un'altra parte indietro, in modo che il suono corrispondente risulta indebolito; per ragioni analoghe certi suoni possono anche risultare riprodotti con maggior intensità. I rinforzi e gli indebolimenti si traducono in punte e valli nella curva di risposta dell'altoparlante; si cerca di contrastare questi effetti rinforzando il cono mediante nervature circolari; anche la composizione della carta ha molta importanza a tale riguardo.

In generale si può dire che gli altoparlanti da 25 a 32 cm di diametro, ben realizzati, possono essere usati per coprire il campo di fre-

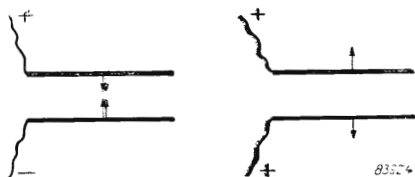



Fig. 74. Principio di funzionamento dell'altoparlante elettrostatico.

quenze da 40 a 10000 c/s, gli altoparlanti da 21 cm il campo da 70 a 12000 c/s e quelli da 13 e 17 cm il campo da 100 a 15000 c/s. Alcuni tipi possono avere un campo di frequenze più esteso; altri ancora presentano un campo di frequenze deliberatamente più ristretto e sono meno adatti per essere impiegati in grammofoni.

Un altro punto da considerare a proposito degli altoparlanti è quello riguardante la risonanza. A una determinata frequenza, che è bassa, l'insieme costituito dal cono, dal centratore e dall'aria circostante entra in vibrazione molto facilmente e il suono corrispondente viene riprodotto con un'intensità particolare; al disotto della frequenza di risonanza la sensibilità dell'altoparlante decresce in ragione di 12 dB per ottava. La risonanza è, come sempre, dannosa per una riproduzione di qualità, perchè certi suoni ne risultano esaltati e perchè inoltre la loro durata viene prolugata alquanto, in modo che la musica diventa cavernosa (suono di botte). Esistono diversi mezzi per combattere questa risonanza e uno consiste nel tendere intorno all'altoparlante una copertura di tela; la curva a tratto pieno (1) della fig. 72 rappresenta la risposta di un certo altoparlante senza tela, la curva (2) con tela. Un metodo molto efficace di smorzamento (3 nella fig. 72) è ottenuto prolungando il cono in modo che la sommità invece di essere tronca penetri nella bobina mobile e praticando nel nucleo un incavo in corrispondenza del vertice del cono. E' questa la costruzione adottata per l'altoparlante tipo 9710, mostrato in fig. 73.

In certi casi, se l'altoparlante è montato in un mobile, la risonanza può essere utilizzata, come vedremo nel paragrofo 5.

L'altoparlante elettrodinamico viene realizzato anche in altre forme, di cui però non tratteremo in questa sede.

§ 2. L'altoparlante elettrostatico

Gli altoparlanti elettrostatici sono usati di rado negli elettrogrammofoni, ma sono talvolta impiegati nei radioricevitori come riproduttori speciali degli alti. Questi altoparlanti sono basati sul principio di funzionamento seguente: se si caricano elettricamente due lamine metalliche parallele, queste si attraggono o si respingono (vedi fig. 74); in altri termini: se si applica una tensione fra le due armature di un condensatore, queste risultano soggette a una forza di attrazione che è funzione della tensione applicata. Se una delle due armature non è rigida, sotto l'azione del campo elettrico s'inflette alquanto e l'inflessione è anch'essa funzione della tensione. Ora, la forza di attrazione non è direttamente proporzionale alla tensione applicata, ma al quadrato di questa; se quindi alle due armature viene applicata una tensione alternata, senza altri accorgimenti, lo spo-

stamento dell'armatura mobile non sarà direttamente proporzionale alla tensione ma crescerà in misura maggiore per valori elevati di tensione, in modo che la riproduzione risulterà notevolmente distorta. Per ridurre questo effetto, oltre alla tensione alternata si applica fra le due armature una tensione continua di valore molto più elevato; un semplice calcolo ci mostra che se la tensione continua è dieci volte maggiore della tensione alternata, la distorsione si porta a meno del 5%. Basandosi sulla tensione continua di 250-300 V già esistente nella maggior parte degli amplificatori, si vede che la tensione alternata non deve superare i 30 V.

Le forze di attrazione elettrostatiche non dipendono solo dalla tensione ma anche dalla distanza fra le armature; questa distanza non può essere troppo piccola se si vogliono evitare cortocircuiti e deformazioni e pertanto le forze che si sviluppano sono piccole e gli spostamenti dell'armatura mobile minimi. Le grandi ampiezze necessarie alla riproduzione dei bassi richiedono tensioni alternate molto maggiori e volendo contenere la distorsione entro limiti accettabili occorrerebbe portare la tensione continua a più di 1000 V, il che però solleverebbe inconvenienti di ordine pratico; per tale ragione gli altoparlanti elettrostatici non sono impiegati che nella riproduzione degli alti. Disponendo l'armatura mobile fra due piastre fisse perforate, si diminuisce alquanto la distorsione, ma il miglioramento è ben lontano dall'essere sufficiente perchè si possa pensare a riprodurre i suoni bassi e anche gli intermedi.

La fig. 75 mostra una delle varie soluzioni realizzate. L'armatura fissa 1 porta dei fori per lasciar passare le onde sonore ed è separata da un sottile strato isolante ed elastico 2 dall'armatura mobile 3 costituita da un sottilissimo foglio metallico, generalmente oro o argento, dello spessore di solo qualche micron. L'armatura mobile e l'involucro di protezione 4 sono collegati a massa; all'armatura fissa sono applicate la tensione continua e la tensione alternata. Una molla 5 isolata dall'armatura fissa, tiene sollevato e ben teso il tutto. Lo strato isolante fra 1 e 3 evita ogni corto circuito che potrebbe eventualmente prodursi per effetto della presenza di particelle di polvere o per effetto di sovraccarichi. Un inconveniente di questa costruzione è che l'altoparlante è alquanto sensibile alla temperatura; inoltre anche l'umidità ha un'influenza che non deve essere trascurata.

Una difficoltà relativa all'inserzione degli altoparlanti elettrostatici è che questi presentano una capacità piuttosto elevata, che influenza sfavorevolmente la caratteristica dell'altoparlante e la risposta ai transitori.

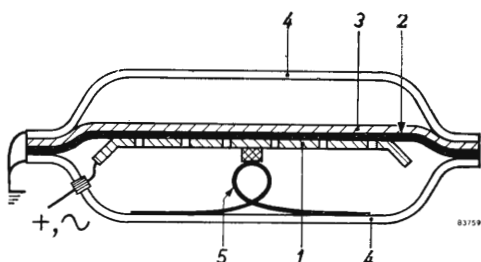



Fig. 75. Altoparlante elettrostatico: 1) Armatura fissa perforata. 2) Strato isolante elastico. 3) Armatura mobile. 4) Custodia. 5) Molla.

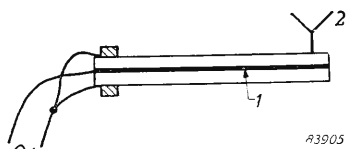



Fig. 76. Principio di funzionamento dell'altoparlante a cristallo: 1) Elemento di cristallo, 2) Cono.

§ 3. L'altoparlante a cristallo

Il funzionamento dell'altoparlante a cristallo (fig. 76) è l'inverso di quello del pick-up a cristallo. In linea di principio si potrebbe fare di questo un altoparlante fissando un cono di carta alla puntina; però mentre in un pick-up le deformazioni dell'elemento di cristallo sono molto piccole, in un altoparlante debbono essere molto più grandi. Inoltre le deformazioni occorrenti per la riproduzione dei bassi sarebbero talmente grandi da provocare la rottura dell'elemento di cristallo; perciò questi altoparlanti vengono usati solo per la riproduzione degli alti (al di sopra di 5000 c/s - 10000 c/s). Poichè infine la curva di risposta di tali altoparlanti presenta delle irregolarità, il loro impiego non è frequente.

§ 4. Proprietà degli altoparlanti

A un altoparlante o a una combinazione di altoparlanti si richiede in generale di soddisfare alle condizioni seguenti:

a. Avere un rendimento più elevato possibile.
b. Riprodurre con la maggior uniformità possibile una gamma di frequenze più estesa possibile.
c. Produrre una distorsione minima.

C'è da aggiungere poi la condizione richiesta da ogni prodotto industriale di costare il meno possibile; il che nel caso in esame è una condizione che presenta molte difficoltà per chi deve redigere il progetto dell'altoparlante, perchè vi entrano materiali piuttosto cari.

Se consideriamo anzitutto il rendimento, la prima difficoltà che si presenta è che questo non è uguale per tutte le frequenze, perchè la curva di risposta non è mai lineare. E' oramai consuetudine determinare il rendimento a una frequenza compresa fra la risonanza e la più elevata frequenza alla quale il cono vibra ancora tutto insieme (vedi fig. 71); una frequenza molto usata è 400 c/s. Il rendimento, cioè il rapporto fra la potenza sonora prodotta e la potenza elettrica fornita, è determinato dall'intensità di campo nel traferro, dalle dimensioni del cono, dalle proprietà del centratore e del bordo esterno del cono e infine dalle proprietà del cono stesso. I valori pratici sono compresi fra l'1,5% per gli altoparlanti più piccoli a magnete piccolo e il 15% per gli altoparlanti da 32 cm di diametro a magnete molto grosso. Fino a non molto tempo fa il rendimento aveva un valore medio dell'1%; attualmente è aumentato al 4%-6%. Per impieghi di laboratorio sono stati fabbricati altoparlanti con un rendimento del 50%, ma il costo risulta talmente elevato che per usi pratici è più conveniente impiegare un altoparlante meno sensibile e un amplificatore più potente.

Poichè il prezzo del magnete incide notevolmente sul prezzo totale dell'altoparlante, gli altoparlanti sensibili sono piuttosto cari. Se per considerazioni di qualità si adotta un traferro assai largo, occorrerà, per ot-

tenere uno stesso rendimento, un magnete più grosso. Questo spiega il perchè del prezzo relativamente alto degli altoparlanti di qualità ad elevato rendimento, a paragone di quello di altri tipi.

Nell'acquisto di un altoparlante, per ragioni di carattere economico occorre talvolta scegliere fra assenza di distorsione e rendimento. L'altoparlante tipo 9710 ad esempio combina il massimo di qualità con un rendimento medio, mentre il tipo 9762 presenta il massimo di qualità (assenza di distorsione) e di rendimento. Ciò che influisce sulla scelta sono le dimensioni del locale nel quale l'altoparlante sarà posto e la potenza dell'amplificatore; in un locale piccolo, oppure quando l'amplificatore può erogare una buona potenza, è sufficiente un altoparlante meno sensibile.

La curva di risposta di un altoparlante non è facile da ricavare, perchè è influenzata in misura notevole dallo schermo acustico (baffle) eventualmente impiegato e dalle proprietà acustiche del locale dove viene effettuata la misura. Quando il cono di un altoparlante si sposta in avanti, esso provoca davanti a sè una compressione d'aria (+) e dietro una rarefazione (—); quando si sposta in senso contrario, si verifica l'inverso. Le onde sonore che hanno origine dietro l'altoparlante si propagano anche sul davanti contornando il bordo dello schermo acustico. Un ascoltatore seduto a una distanza d dall'altoparlante percepisce dunque tanto le vibrazioni sonore emesse anteriormente che quelle emesse posteriormente (fig. 77); queste ultime subiscono un certo ritardo perchè debbono percorrere la distanza a in più. Quando a è assai piccola rispetto a d, questo ritardo è trascurabile, con la conseguenza che le due onde risultano in opposizione di fase e si neutralizzano a vicenda quasi completamente (la compressione d'aria sul davanti viene quasi praticamente annullata dalla depressione generata nella parte retrostante). Quando a non è più trascurabile, le due onde risultano sfasate diversamente, in modo che si indeboliscono a vicenda in misura meno marcata.

Alle frequenze elevate l'attenuazione è del tutto trascurabile per ogni tipo di schermo acustico impiegato. Si può dimostrare tanto col calcolo che sperimentalmente che quando a è uguale a ¼ della lunghezza d'onda non c'è più attenuazione. Esprimendo questo concetto mediante una formula si ha: lunghezza d'onda limite = 4a, oppure: frequenza limite = 343/4a (a in metri). Alle frequenze inferiori alla frequenza limite, la riproduzione si abbassa di 6 dB per ottava.

Alla frequenza di 300 c/s la lunghezza d'onda è approssimativamente 1 m; a 100 c/s 3 m, a 50 c/s 6 m, in modo che l'effetto di cui sopra non si può certamente trascurare. Dato che, oltre alle dimensioni dello schermo acustico, influiscono anche

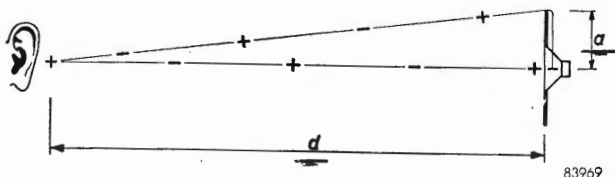



Fig. 77. Influenza dello schermo acustico.

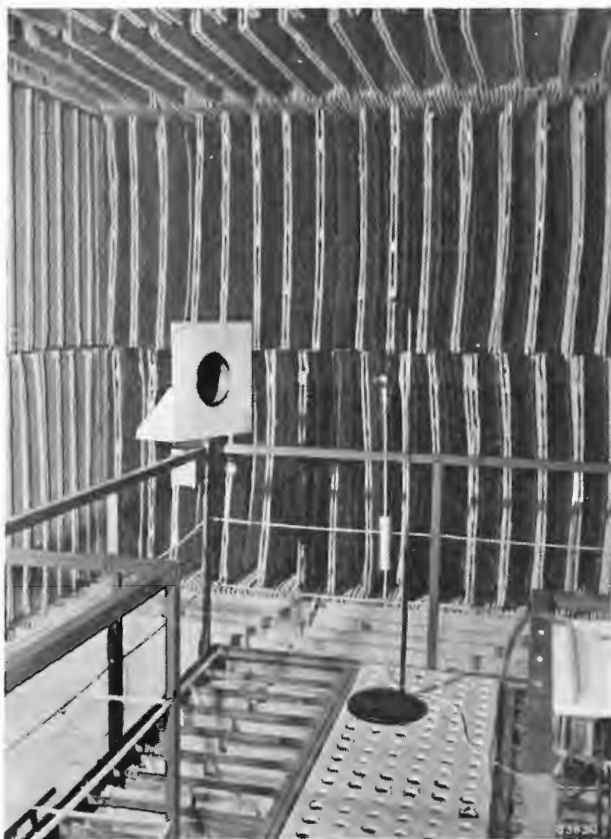



Fig. 78. Camera silente per misure acustiche. Il microfono (sferico) è a destra dell'altoparlante; in questo caso l'altoparlante è montato su uno schermo acustico.

la forma e le altre proprietà, per dare un giudizio sugli altoparlanti è meglio effettuarne le misure senza schermo acustico. Ai fini pubblicitari questo modo di procedere può sembrare svantaggioso perchè la curva scende rapidamente man mano che la frequenza diminuisce. Però, le curve di risposta date senza specificazione dello schermo acustico impiegato nel rilevamento non presentano alcun valore pratico.

Per il rilevamento della curva di risposta si pone un microfono tarato a distanza determinata, ad esempio 50 cm, dall'altoparlante. Si invia in questo una corrente d'intensità costante di cui si fa variare la frequenza da 0 a 20000 c/s e poichè la tensione fornita dal microfono è una misura della pressione sonora, si ottiene in tal modo una curva come mostrato in fig. 79. Occorre che il microfono raccolga solo il suono proveniente direttamente dall'altoparlante e non quello riflesso dalle pareti della sala di misura nè suoni di altra provenienza. Per tale motivo l'altoparlante e

il microfono vengono posti in una camera silente.

La camera silente rappresentata nella fig. 78 è costituita da un cubo vuoto, dalle pareti spesse, appoggiato su molle e posto all'interno di un secondo cubo, anch'esso dalle pareti spesse; entrambi possono essere chiusi mediante pesanti porte che non lasciano passare suoni, in modo che nel cubo interno regna il silenzio più completo. Le sei pareti del cubo interno, che costituisce la sala di misura, sono inoltre ricoperte di cunei di materiale assorbente, dell'altezza di m. 1,50, in modo che nella sala manca anche ogni riverberazione. Il silenzio che vi regna è impressionante; dopo esservi stati un quarto d'ora isolati dal mondo esterno, si sente nettamente il battito del proprio cuore, il sibilo dell'aria attraverso le narici e ogni sorta di rumori, in altre condizioni inudibili, che accompagnano la digestione. Il silenzio è così assoluto che diviene difficile da sopportare e anche le persone col sistema nervoso a posto preferiscono uscirne presto.

In tali condizioni le misure possono essere condotte con grandissima precisione; tutti gli strumenti, eccetto il microfono e i suoi accessori, sono posti fuori dalla sala per evitare rumori perturbatori. Il generatore di suoni e la scriscia di carta sulla quale viene registrata automaticamente la tensione fornita dal microfono sono mossi da un motore. Per controllo si interrompe un istante il generatore di suoni in corrispondenza di 1000 c/s; il picco che ne risulta, e che è ben visibile su tutte le curve di risposta che seguono, non ha quindi alcun rapporto con le proprietà dell'altoparlante.

La curva di risposta della fig. 79 riguarda l'altoparlante tipo 9770 il cui diametro è di 21 cm; a tale diametro corrisponde una lunghezza d'onda limite di 42 cm, cioè una frequenza minima, riprodotta senza attenuazione, di 800 c/s circa. Esaminando la curva di risposta in argomento, si constata che fra 800 c/s e 200 c/s la curva si abbassa di 6 dB per ottava; ciò è dovuto al fatto che essendo state le misure effettuate sull'altoparlante senza schermo acustico e funzionando da schermo acustico il cono stesso, le frequenze inferiori alla frequenza limite vengono attenuate, come abbiamo già visto, in tale misura. Verso i 90 c/s la pressione sonora sale per effetto della maggior sensibilità in corrispondenza della frequenza di risonanza; al disotto, cioè per frequenze più basse, la curva cade di 18 dB per ottava, (cioè 6 dB dovuti alla mancanza dello schermo acustico più 12 dB che sono la perdita normale di sensibilità di ogni altoparlante al disotto della frequenza di risonanza).

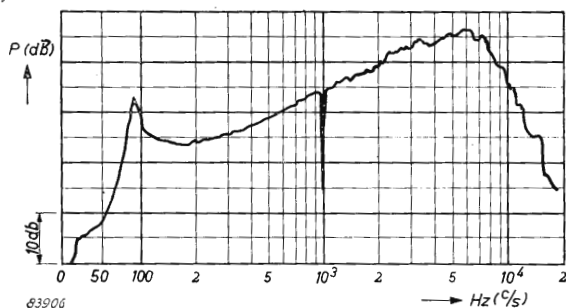



Fig. 79. Curva della pressione sonora dell'altoparlante tipo 9770.

Si può osservare che

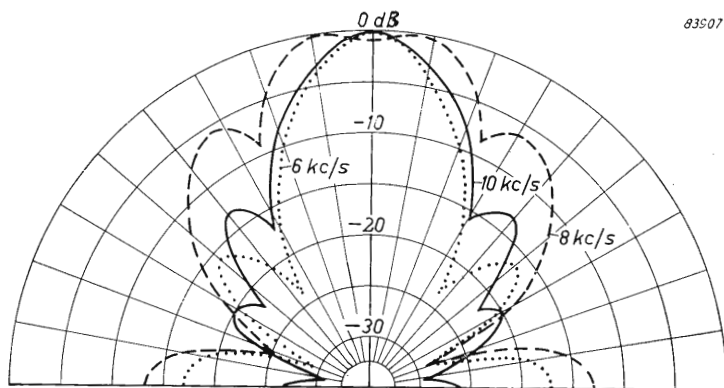
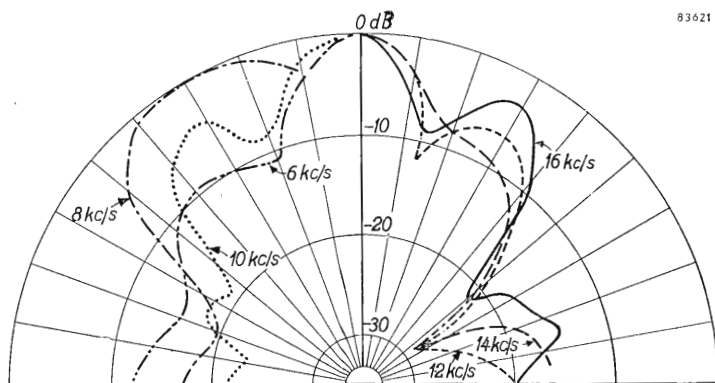



Fig. 80. Diagramma d'irradiazione:
a) Altoparlante tipo 9770. *b) Altoparlante tipo 9770 M.*

nemmeno al di sopra dei 1000 c/s la curva ha andamento orizzontale e anche qui la sensibilità dell'altoparlante risulta crescente con la frequenza; in tale zona di frequenze il fenomeno è però dovùto al fatto che il cono funziona da riflettore per i suoni alti, che vengono così concentrati a fascio esattamente come la luce di un proiettore per illuminazione. Ne consegue che i suoni alti sono più intensi sull'asse dell'altoparlante che di lato; questo effetto è chiaramente percettibile soprattutto in un locale afono, mentre in una stanza normale viene in parte compensato dalle riflessioni sulle pareti e sul soffitto. Se, come si cerca di ottenere, l'energia sonora totale si mantiene costante anche alle frequenze elevate, risulta che di fronte all'altoparlante l'intensità sonora aumenta un po' troppo alle frequenze elevate. Se sull'asse dell'altoparlante si cerca di tenere costante la pressione sonora, l'energia sonora totale decresce alle frequnze elevate e

la riproduzione risulta affetta da troppi bassi, specialmente nelle zone laterali.

Nella fig. 80a è dato il diagramma d'irradiazione dell'altoparlante 9770 (ricavato nella sala della fig. 78); la distanza fra il centro del diagramma e un punto sulle curve misura l'intensità sonora in quella direzione a quella frequenza. Come si può vedere nella fig. 80b (altoparlante 9770 M), l'effetto direttivo può essere modificato e migliorato ponendo davanti al cono un altro cono diffusore, oppure disponendo sulla bobina mobile un secondo cono. Questo non serve solo a migliorare il diagramma d'irradiazione, o curva di direzionalità, ma ha anche un'altra importante funzione.

Un cono normale dimensionato in modo da riprodurre bene i bassi, non è molto adatto per la riproduzione degli alti; per tale motivo, per la riproduzione degli alti viene talvolta usato un secondo altoparlante a cono piccolo (tweeter); la curva di risposta di questo deve adattarsi esattamente a quella dell'altoparlante principale, il che richiede filtri speciali. E' preferibile in certi casi fissare sulla bobina mobile, coassiale col primo, un secondo cono per la riproduzione degli alti; dandogli la forma giusta, le curve di risposta si allineano automaticamente. Un esempio ne è dato nella fig. 81. La curva (a) a tratto continuo si riferisce all'altoparlante 9710; l'altoparlante 9710 M/88 è provvisto di un secondo cono che determina un prolungamento della curva, in direzione praticamente orizzontale, fino a frequenze molto più elevate (curva b tratteggiata).

A scopo di paragone diamo (fig. 82) la curva di risposta e quella di direzionalità di un altoparlante elettrostatico per suoni alti; come si vede, la riproduzione dei bassi è debole. Per evitare danni a un altoparlante di tale tipo è necessario evitare che gli giungano segnali di bassa frequenza e per tale motivo è sufficiente inserirlo sull'amplificatore attraverso un filtro, che d'altronde non presenta alcuna difficoltà di realizzazione.

Nel capitolo precedente abbiamo menzionato, a proposito del trasformatore d'uscita, l'impedenza dell'altoparlante. La bobina mobile di un altoparlante elettrodinamico presenta una resistenza ohmica che è determinata dalla lunghezza e dalla sezione del filo impiegato nonchè dal materiale (generalmente rame) che lo costituisce. Se la resistenza viene misurata con una tensione alternata, si trova un valore maggiore della semplice resistenza ohmica; ciò dipende in parte dal fatto che ogni bobina, e quindi anche la bobina mobile di un altoparlante, presenta una certa in-

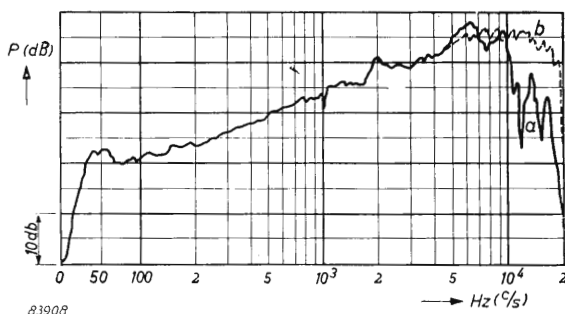
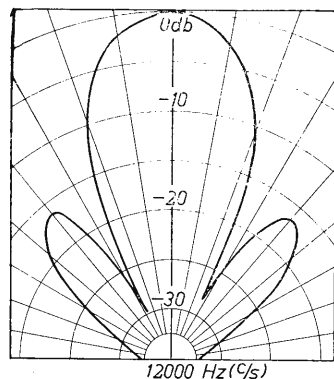
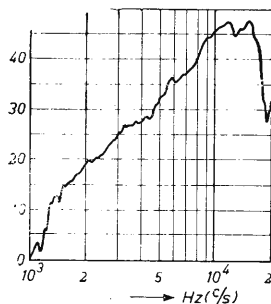



Fig. 81. Curve della pressione sonora: a) Altoparlante tipo 9710. b) Altoparlante tipo 9710 M.

Fig. 82. Altoparlante elettrostatico:
a) Curva della pressione sonora.
b) Diagramma d'irradiazione a 12000 c/s.

duttanza, la quale fa sì che l'impedenza (resistenza alla corrente alternata) cresce col crescere della frequenza.

L'aumento d'impedenza alle frequenze elevate è anche una conseguenza di un altro fenomeno. Quando è percorsa da una corrente alternata, la bobina mobile comincia a spostarsi; abbiamo già spiegato, a proposito dei pick-up e microfoni elettrodinamici, che quando una bobina si muove in un campo magnetico diviene sede di una tensione indotta ed è appunto ciò che accade anche nel caso degli altoparlanti. La tensione indotta è di senso opposto alla tensione applicata all'altoparlante e per conseguenza nella bobina mobile la corrente diminuisce. Man mano che la frequenza cresce questo fenomeno aumenta, diviene più marcato e se la tensione viene mantenuta costante, la corrente decresce sempre più; la resistenza apparente della bobina cresce dunque con la frequenza e l'entità del fenomeno è determinata dalla costruzione dell'altoparlante.

Ne consegue che l'altoparlante non può essere ben adattato allo stadio finale che in una parte del campo delle frequenze da riprodurre. Se l'adattamento non è corretto, diminuisce la potenza massima che lo stadio finale può fornire senza distorsione all'altoparlante e poichè le potenze maggiori sono necessarie per la riproduzione dei bassi, è per questi che va scelto il buon adattamento. Come è mostrato dalla curva a tratto continuo della fig. 83, se l'adattamento è fatto alla frequenza di 100 c/s risulta corretto, entro limiti ragionevoli, per un intervallo di frequenze sufficientemente ampio.

Da quanto detto deriva anche che se un altoparlante è alimentato a tensione costante, la riproduzione diviene più debole alle frequenze elevate. Quando ciò accade gli alti debbono essere rinforzati, cioè amplificati maggiormente, per esempio mediante diminuzione della controreazione; il che però aggiungendosi al disadattamento d'impedenza alle frequenze elevate, non migliora la qualità della riproduzione. Perciò per gli altoparlanti che debbono dare una riproduzione di qualità si prendono talvolta misure adatte per rendere l'impedenza quasi indipendente dalla

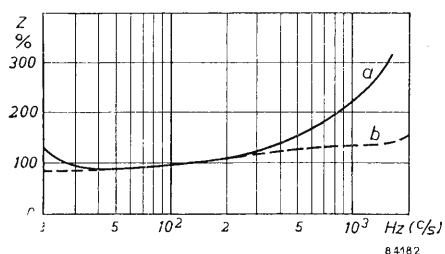



Fig. 83. Variazione dell'impedenza della bobina mobile: a) Altoparlanti normali. b) Altoparlanti con impedenza quasi indipendente dalla frequenza.

frequenza.

A tale scopo si pone intorno all'estremità del nucleo, in corrispondenza del foro praticato nella piastra polare superiore (figura 69), un anello di rame. I campi magnetici prodotti dalla bobina mobile quando vi circola corrente inducono nell'anello di rame correnti che riducono notevolmente le tensioni di senso opposto sopra menzionate. La curva a tratti della fig. 83 mostra che questa misura migliora molto l'andamento dell'impedenza.

Notiamo ancora a questo proposito che le tensioni di senso opposto esistono anche alle basse frequenze ed esercitano un'influenza sulla risonanza e che alimentando l'altoparlante a corrente costante invece che a tensione costante, la risonanza risulta molto più pronunciata che procedendo a tensione costante.

Qualche parola infine a proposito della distorsione prodotta dagli altoparlanti. A rigor di termini le condizioni da osservare debbono essere uguali a quelle degli amplificatori e dei pick-up. La misura della distorsione, tanto della distorsione non lineare nella riproduzione di un solo suono quanto della distorsione d'intermodulazione, è però molto più complicata nel caso degli altoparlanti e valori di distorsione non vengono pubblicati se non eccezionalmente in memorie tecniche molto specializzate. Poichè con altoparlanti di buona qualità è possibile percepire molto chiaramente differenze anche piccole nel tasso di distorsione degli amplificatori, si può trarre senza timori la conclusione che la distorsione prodotta dagli altoparlanti di buona qualità è di lieve entità.

In generale si può dire che la distorsione prodotta dall'altoparlante dipende dalla frequenza in misura maggiore che negli amplificatori e nei pick-up. Una distorsione vicina alla frequenza di risonanza può dare luogo al curioso risultato che la riproduzione dei bassi ne risulta apparentemente migliorata. Quando un suono grave, attenuato a causa delle dimensioni insufficienti dello schermo acustico, risulta distorto, si originano delle armoniche. L'orecchio non identifica immediatamente queste

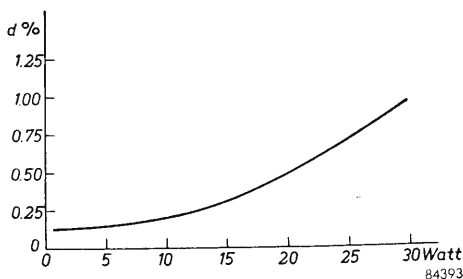



Fig. 84.
Curva della distorsione della combinazione di altoparlanti tipo AD 5002.

come distorsione, ma immagina su queste false armoniche una fondamentale anch'essa falsa; il suono distorto dà un'impressione sonora più intensa, ma anche più ovattata del suono non distorto. Naturalmente se si paragonano il suono distorto e quello originale, risulta migliore quello esente da distorsione.

Per quanto riguarda la distorsione d'intermodulazione, questa è accompagnata negli altoparlanti dall'effetto Doppler col quale ha stretta attinenza. E' noto che se una sorgente sonora si avvicina rapidamente a un ascoltatore il suono che si sente risulta più alto di quando la sorgente si allontana; questo fenomeno si distingue assai chiaramente al passaggio di una locomotiva che fischia e si spiega col fatto che nel primo caso le onde sonore che raggiungono l'orecchio dell'ascoltatore hanno senso uguale a quello dello spostamento della sorgente sonora e quindi si susseguono a cadenza accelerata, cioè a frequenza più elevata; nel secondo caso avviene il contrario.

Quando un altoparlante riproduce simultaneamente un suono alto e uno basso intenso, si verifica la stessa cosa. Il cono è la sorgente sonora delle note alte che si sposta in avanti e indietro, cioè verso l'ascoltatore e in senso opposto, alla cadenza del suono basso; il suono alto verrà dunque sentito con frequenza rispettivamente un po' maggiore e un po' minore di quella effettiva. Il fenomeno è trascurabile fintantochè gli spostamenti del cono sono relativamente piccoli, ma per grandi ampiezze di spostamento l'effetto Doppler può dar luogo a distorsioni percettibili. Tali ampiezze si raggiungono però in pratica solo alla frequenza di risonanza dell'altoparlante e prendendo le disposizioni adatte per smorzare questa in misura sufficiente, la distorsione causata dall'effetto Doppler può essere tenuta al disotto del minimo percettibile.

A causa delle difficoltà che presentano le misure di distorsione negli altoparlanti, è invalso l'uso di indicare solo la potenza massima che l'altoparlante può sopportare. Cioè quando si cita la cifra, ad esempio, di 6 W come potenza di un altoparlante, s'intende dire che questo può essere inserito senza rischio di danni, in servizio continuo, su un amplificatore da 6 W. Il limite al quale comincia il pericolo di danni si trova a circa il 50% sopra detta potenza. L'entità della distorsione a 6 W è interamente determinata dalla costruzione dell'altoparlante e per i buoni altoparlanti resta minima fino al disotto della potenza massima menzionata.

A titolo di esempio diamo qui la curva di distorsione dell'unità AD 5002, ricavata alla frequenza di 400 c/s (fig. 84).

CAPITOLO IX-B

ALTOPARLANTI: PROBLEMI DI ACUSTICA E SOLUZIONI

§ 5. Schermi acustici e mobili per altoparlanti

Gli altoparlanti di cui stiamo trattando hanno bisogno per ben funzionare di uno schermo acustico, oppure di una cassa acustica, oppure di un padiglione o tromba. Senza questi organi, i bassi non possono essere riprodotti e inoltre gli altoparlanti si romperebbero con facilità. Infatti per effetto del cortocircuito acustico citato al paragrafo precedente, che si verifica quando la minima distanza dal centro dell'altoparlante al bordo dello schermo acustico è inferiore a ¼ della lunghezza d'onda, alle basse frequenze e specialmente alla frequenza di risonanza, il cono si muove incontrando così poca resistenza nei suoi spostamenti che questi divengono eccessivamente grandi quando l'altoparlante riceve un po' di potenza e possono risultarne danni.

La fig. 85 rappresenta la relazione fra la minima distanza dal centro dell'altoparlante al bordo dello schermo acustico e la frequenza minima f_c che si vuol riprodurre senza attenuazione. Le dimensioni dello schermo acustico che si ricavano da questo grafico sono tali da farci comprendere perfettamente perchè una padrona di casa possa sollevare obiezioni alla riproduzione **naturale** fino a 60 c/s; uno schermo acustico di m 3 x 3 è infatti troppo ingombrante per una stanza normale.

Si possono ottenere buoni risultati anche con uno schermo acustico più piccolo, a condizione che nella determinazione delle dimensioni si tenga conto della frequenza di risonanza dell'altoparlante. Nella fig. 86 è riportata la curva di risposta di un altoparlante avente una frequenza di risonanza di 60 c/s, montato al centro di uno schermo acustico di m 1,50 x 1,50 (curva a tratto continuo), e quella di un altoparlante, montato sullo stesso schermo, avente una frequenza di risonanza di 30 c/s (curva a tratti). Con lo altoparlante avente la frequenza di risonanza più alta, la riproduzione è ancora soddisfacente fino a 50 c/s; a questa frequenza la risposta è scesa di 6 dB, il che è perfettamente accettabile. La curva di risposta dell'altoparlante avente

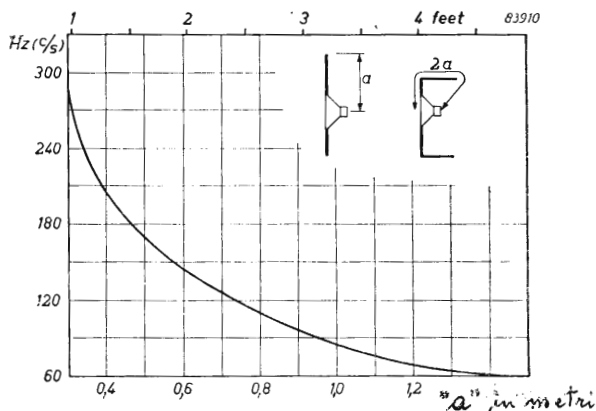
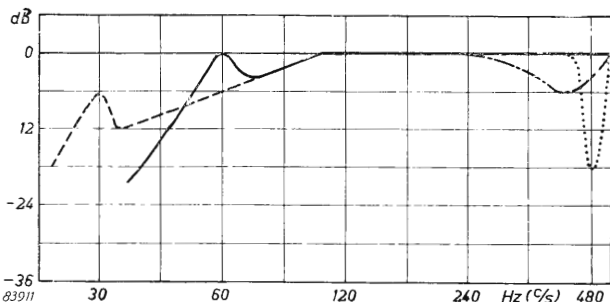



Fig. 85. Frequenza limite in funzione delle dimensioni dello schermo acustico.

Fig. 86. Influenza dello schermo acustico o della cassetta sulla riproduzione.

la frequenza di risonanza di 30 c/s è invece scesa di 6 dB già a 60 c/s e praticamente dei suoni più bassi si udranno solo quelli più vicini alla frequenza di risonanza; inoltre tale altoparlante, a causa dello schermo troppo piccolo, non è sufficientemente caricato dal punto di vista acustico e quindi c'è anche il pericolo di sovraccarichi, il che si manifesta anzitutto sotto forma di distorsione. La migliore soluzione richiede che, in generale, la frequenza di risonanza sia inferiore di un'ottava alla frequenza limite f_c dello schermo acustico o della cassetta.

Le figure precedenti non indicano se lo schermo acustico è quadrato o circolare; a questo proposito si tenga presente però che la forma circolare è la meno adatta per schermi acustici. Come abbiamo già detto, la riproduzione subisce un'attenuazione quando la lunghezza d'onda è inferiore a 4 volte la distanza che intercorre fra il centro dell'altoparlante e il bordo dello schermo acustico; lo stesso avviene a una frequenza quattro volte maggiore, cioè quando la lunghezza d'onda è uguale a detta distanza. Con uno schermo acustico rettangolare o quadrato la distanza dal centro al bordo non è uguale in tutte le direzioni, ma lo è con uno schermo circolare e ne risulta un picco assai brusco nella curva di risposta. Quando lo schermo acustico non è circolare, le differenze di percorso nelle varie direzioni non sono uguali nè lo sono per conseguenza le lunghezze d'onda che vi corrispondono. Il fenomeno non si concentra allora in un intervallo di frequenze ristretto ma si diluisce in un intervallo maggiore, in modo che invece di un picco ripido si disegna un avvallamento più smussato e meno fastidioso (vedi fig. 86: punteggiato = schermo circolare; tratto-punto = schermo quadrato).

E' quindi consigliabile scostarsi il più possibile dalla forma circolare e per l'identico motivo è preferibile non montare l'altoparlante esattamente al centro dello schermo acustico, ma spostarlo lungo una diagonale. E' vero che in tal modo l'altoparlante si avvicina a due lati dello schermo e la frequenza limite s'innalza, ma il picco di cui sopra risulta notevolmente addolcito. Lo schermo acustico con la forma più irregolare possibile è quello riprodot-

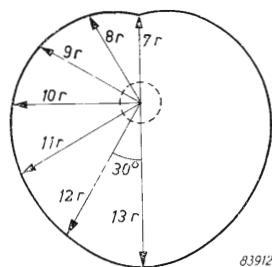



Fig. 87. Schermo acustico a forma di cuore. 7 r = a in fig. 85.

to nella fig. 87; la dimensione 7r di questo schermo a cuore è uguale alla dimensione a che si determina dal grafico di fig. 85; benchè tale forma sia esteticamente gradevole, si vorrà ammettere senza difficoltà che può non adattarsi ad ogni ambiente e pertanto in fig. 88 abbiamo riportato una forma acusticamente eccellente e in generale più facilmente accettabile da parte di una padrona di casa. Questo schermo acustico dà i migliori risultati con un altoparlante di circa 30 cm di diametro.

Le dimensioni richieste perchè la riproduzione dei bassi sia realmente buona sono tali che per motivi d'ingombro nella maggior parte delle case gli schermi acustici non si possono collocare. La soluzione quasi ideale sarebbe di ricavare un foro nel muro e di piazzarvi l'altoparlante, si disporrebbe così di uno schermo acustico praticamente infinito e anche le frequenze più basse verrebbero messe in valore; ma senza contare le difficoltà insite in una soluzione del genere, questa presenta l'inconveniente che il suono viene sentito con uguale intensità in due locali adiacenti. Con una tale installazione inoltre occorre prevedere il pericolo di guasti che una corrente d'aria o lo sbattere di una porta possono provocare all'altoparlante; una tela ben tesa intorno all'altoparlante o una cuffia di protezione di materiale efficacemente assorbente possono ridurre il pericolo ma fanno salire alquanto la frequenza di risonanza.

Offrono dunque grande interesse i metodi che permettono di ottenere press'a poco gli stessi risultati degli schermi acustici di grandi dimensioni ma con ingombro minore. Uno di questi metodi viene usato per i radioricevitori e lo schermo acustico prende allora la forma di una cassetta aperta appoggiata su una faccia. La dimensione a della fig. 77 è uguale questa volta alla somma di p e di q della fig. 89; anche in un mobile del genere è preferibile non montare l'altoparlante esattamente al centro del pannello frontale. Il volume della cassetta e le dimensioni hanno una certa influenza sulla riproduzione e quando la profondità è eccessiva, una punta di risonanza compare generalmente nei pressi della frequenza limite, nuocendo alla qualità del suono; il tono diviene cavernoso, col risultato che le voci parlate e cantate non risultano naturali e divengono quasi incomprensibili. La risonanza può essere così marcata che i diversi bassi di un violoncello divengono tutti uguali, con

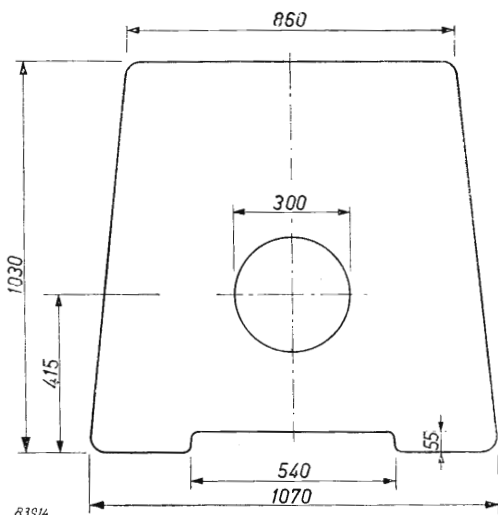



Fig. 88. Schermo acustico a forma di trapezio.

un'altezza uguale alla frequenza di risonanza; per tale motivo q non deve superare di molto la metà di p. Quando si tratta di mobili piccoli o con proporzioni bene indovinate e si possono eseguire misure di controllo, ci si può anche scostare da quanto detto.

Fig. 89. Cassetta aperta.

Con una cassetta di m 1 x 1 x 0,25 si ottiene all'incirca lo stesso risultato che con uno schermo acustico di m 1,50 x 1,50. La parte posteriore deve restare aperta, altrimenti l'aria racchiusa formerebbe un cuscinetto elastico e produrrebbe una risonanza in un campo di frequenze determinato dalle dimensioni della cassetta stessa. Ciò è illustrato nella fig. 90 nella quale la curva a tratto continuo rappresenta la risposta di una cassetta aperta e la curva tratteggiata quella di una cassetta chiusa posteriormente; la presenza di un fondo causa una risonanza sgradevole fra 300 e 1000 c/s con una ripercussione sfavorevole anche nella riproduzione al di sotto dei 300 c/s. Se dunque tale cassetta deve essere chiusa per misura di sicurezza, per evitare che i bambini possano metterci le mani dentro, occorre che il fondo sia forato oppure fatto di tela opportunamente tesa. Un'altra osservazione da fare è che la cassetta non deve mai essere appoggiata al muro. Anche una cassetta del genere è però lontana dall'essere la soluzione che concili la riproduzione dei bassi con l'adattabilità ad un vano di abitazione.

Le casse acustiche, benchè più difficili da calcolare e da costruire, offrono la possibilità di una buona riproduzione dei bassi, senza richiedere dimensioni eccessive. La cassa acustica "non" risonante (**acoustic box**) è costituita in linea di principio da una cassa chiusa nella parte posteriore, di dimensioni determinate; all'interno sono posti dei pannelli di materiale assorbente che hanno la funzione di assorbire completamente le onde sonore emesse posteriormente dal cono. Se ben concepita e ben realizzata, l'**acoustic box** si comporta all'incirca come uno schermo acustico infinito e viene talvolta indicata appunto con tale termine. Come materiale assorbente si usano dei pannelli molto porosi di cellulosa, generalmente dello spessore di 2,5 cm, posti su listelli di legno alla distanza di 1 cm dalle pareti; solo la parete frontale deve restare nuda.

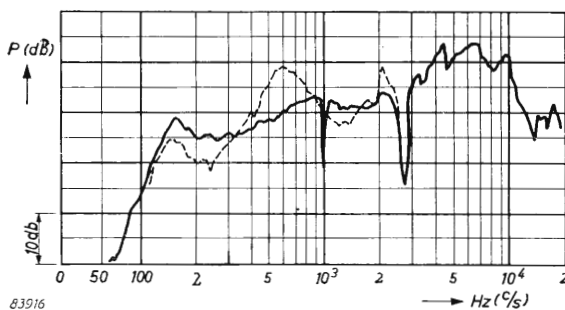



Fig. 90. Curva della pressione sonora di una cassetta aperta e chiusa.

Una condizione essenziale da osservare nell'**acoustic box** è

Fig. 91. Curva della pressione sonora della combinazione di altoparlanti tipo AD 5002 (acoustic box con proiettori).

che le pareti debbono essere abbastanza massicce e rigide per non vibrare con l'altoparlante; debbono quindi essere di legno, dello spessore di 25 mm. Inoltre l'**acoustic box** non deve avere fughe, cioè i giunti debbono essere perfetti; è difficile perciò che una persona non del mestiere riesca a costruirla bene. I risultati però sono eccellenti; lo smorzamento dell'altoparlante è tale che praticamente la curva di risposta si appiattisce in corrispondenza della frequenza di risonanza e perciò l'altoparlante può sopportare potenze più elevate. Se l'**acoustic box** è ben fatta la frequenza limite risulta assai bassa e l'attenuazione dei suoni di frequenza inferiore a quella di risonanza dell'altoparlante non raggiunge i 18 dB per ottava ma resta limitata a 12 dB per ottava. La distorsione al disotto della frequenza di risonanza resta però piuttosto forte.

I risultati ottenibili sono mostrati nella fig. 91 (combinazione di altoparlanti tipo AD 5002). Grosso modo per il calcolo delle dimensioni si può seguire la regola che con gli altoparlanti tipo 9710 e 9710 M/88 la **acoustic box** deve avere un volume di 100 dm³ per altoparlante e 130 dm³ per altoparlante con i tipi 9758, 9760 e 9762; la forma non ha molta importanza, a condizione che la profondità non sia eccessiva nè troppo piccola.

Mentre nell'**acoustic box** le onde sonore emesse posteriormente dal cono vengono assorbite, nel **bass-reflex** o cassa acustica risonante (fig. 92) il principio di funzionamento è di utilizzare queste onde. I suoni presenti all'interno della cassa vengono portati all'esterno attraverso un'apertura (1) con un ritardo tale da rinforzare, invece che attenuare, le vibrazioni sonore emesse dall'altoparlante (2) anteriormente. Il ritardo è ottenuto scegliendo opportunamente le dimensioni della cassa, come spiegheremo ora.

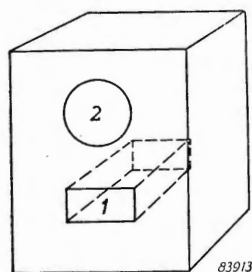
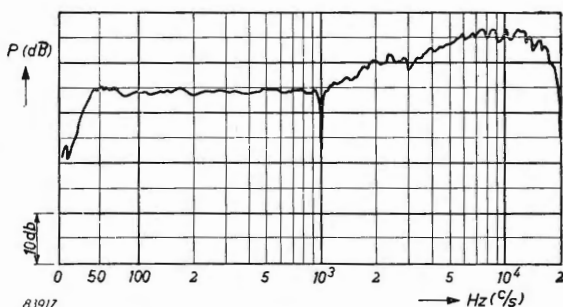



Fig. 92. Bass-reflex.

L'aria contenuta nella cassa può essere paragonata a un condensatore elettrico e la colonna d'aria che esce dall'apertura (1) può paragonarsi a una bobina; l'accoppiamento dei due elementi forma un circuito acustico risonante e scegliendo opportunamente i valori per il volume della cassa e per l'area dell'apertura, si può rendere la frequenza di risonanza della cassa uguale a quella dell'altoparlante; evitando di addentrarci in particolari possiamo dire che si ottengono in tale modo i ritardi voluti per le frequenze basse. L'intensità sonora ottenuta per tali frequenze mediante l'im-

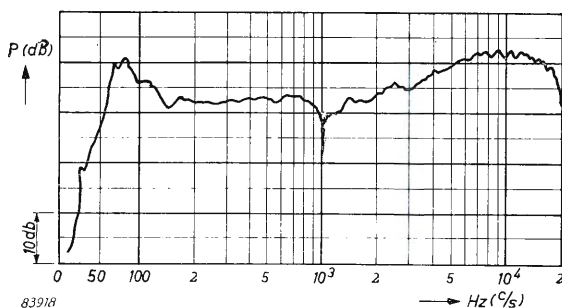



Fig. 93. Curva della pressione sonora di un bass-reflex.

piego di un **bass-reflex** è così maggiore che con l'**acoustic box** sopra descritta; però purtroppo il guadagno ottenuto viene pagato altrimenti. Anzitutto per effetto della colonna d'aria della cassa, la frequenza di risonanza dell'altoparlante diviene più elevata e in tal modo i suoni più bassi si perdono; col **bass-reflex** l'attenuazione al disotto della frequenza di risonanza torna ad essere di 18 dB per ottava; inoltre valli e gobbe compaiono nella curva di risposta alle frequenze alquanto superiori; infine la risonanza dell'altoparlante non viene smorzata ma piuttosto rinforzata dalla risonanza della cassa.

In definitiva, per una riproduzione di qualità noi diamo la preferenza all'**acoustic box.** Benchè ci siano molti tecnici di questo parere, sappiamo per certo che ce ne sono anche molti di parere contrario, i quali preferiscono cioè il **bass reflex** appunto perchè la risonanza dell'altoparlante vi è più accentuata, mentre nell'**acoustic box** viene in gran parte smorzata. Nella fig. 93 è riprodotta la curva di risposta di un **bass-reflex** di dimensioni paragonabili a quelle dell'**acoustic box** della fig. 91; le differenze sono nettamente visibili.

Il nostro punto di vista è che ogni risonanza influisce sfavorevolmente sulla purezza e sulla fedeltà della riproduzione; però per imparzialità diamo un grafico in fig. 94, per permettere di determinare le dimensioni più favorevoli di un **bass-reflex**; anche in questo caso è preferibile rivestire l'interno di materiale che assorba il suono. La quantità e la qualità del materiale usato a questo scopo hanno una certa influenza sulla vivezza della riproduzione; la migliore soluzione si può trovare solo effettuando delle prove.

L'impiego di un tubo (punteggiato in fig. 92) sulla finestra abbassa la frequenza di risonanza del **bass-reflex,** ma poichè lo stesso risultato si può ottenere anche riducendo l'apertura, è preferibile fare questa un po' più grande e ridurla per mezzo di uno sportello scorrevole fino a che il suono risulti il migliore possibile. L'apertura non deve essere praticata

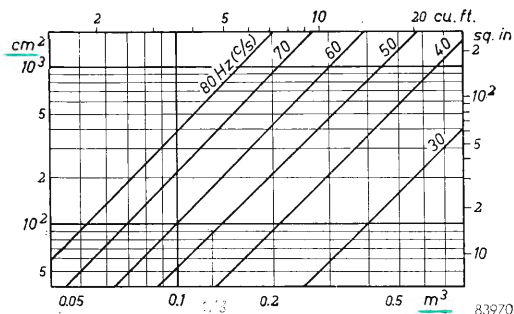



Fig. 94. Grafico per la determinazione del volume di un bass-reflex e dell'area della finestra.

troppo vicino all'altoparlante. I **bass-reflex** grandi sono migliori di quelli piccoli e come per l'**acoustic box** occorre usare legno robusto.

Il padiglione, o tromba, sarebbe l'ideale per metterci un altoparlante, se le dimensioni necessarie per la riproduzione dei bassi non ne rendessero impossibile l'impiego. Un padiglione per riprodurre fino a 40 c/s dovrebbe avere un diametro di circa 2,5 m e una lunghezza di diversi metri. Benchè un umorista possa trovare una soluzione a questo problema mettendo l'altoparlante in cantina e facendo terminare il padiglione nel locale di ascolto, non avremmo accennato al padiglione se non ci fosse una possibilità di portarne le dimensioni in limiti accettabili. Ripiegando il padiglione infatti, si può ottenere un ingombro conciliabile con una stanza di abitazione, benchè un buon padiglione ripiegato resti ancora una cosa ingombrante.

La fig. 95 mostra, visto di sopra a) e di lato b), un padiglione del genere destinato ad essere collocato in un angolo. Le vibrazioni emesse posteriormente dall'altoparlante vengono incanalate orizzontalmente e seguono un tragitto dal quale si ha l'impressione che il padiglione sia posto dietro le pareti del locale e proietti il suono all'interno (a). Le vibrazioni sonore emesse anteriormente dall'altoparlante vengono incanalate in direzione verticale (b) e si diffondono obliquamente mescolandosi alle precedenti. Le pareti e il pavimento del locale di ascolto costituiscono un prolungamento del padiglione, cosa necessaria per il suo buon funzionamento. Il padiglione ripiegato è in realtà più complicato di quanto non lo lascino supporre i disegni semplificati che abbiamo dato e pertanto il prezzo risulta alquanto elevato.

Fig. 95. *Padiglione ripiegato in sezione: a) visto di sopra, b) visto di lato.*

Il principio di sfruttare le pareti del locale di ascolto come prolungamento del mobile dell'altoparlante ha il pregio di non costare nulla e di potersi utilmente applicare anche al **bass-reflex** e all'**acoustic box**; pertanto la forma preferita per tali casse sarà quella di un prisma triangolare. La cassa acustica può così essere facilmente collocata in un angolo dove disturba meno e dove la riproduzione dei bassi risulta favorita.

Se fino ad ora ci siamo limitati a parlare della riproduzione dei bassi è perchè per gli alti non ci sono misure particolari

Fig. 96. Combinazione di altoparlanti tipo AD 5002.

da prendere. Se per gli alti vengono usati altoparlanti separati, è sufficiente un piccolo schermo acustico o una cassettina, i quali però nella maggior parte dei casi non sono nemmeno indispensabili.

§ 6. Altoparlanti multipli

Un' installazione grammofonica può avere più di un altoparlante nello stesso locale di ascolto per le seguenti ragioni:

a) perchè l'altoparlante principale ha un campo di frequenze che non comprende quelle più elevate,

b) per diminuire l'effetto Doppler,

c) per ottenere un certo effetto spaziale,

d) per disporre di una maggiore potenza.

Il caso a) non ha bisogno di molte spiegazioni. Se l'altoparlante principale riproduce per esempio solo fino a 6000 c/s, occorre un altoparlante supplementare (tweeter) per le frequenze più elevate; per tali frequenze lo schermo acustico è superfluo; talvolta una piccola tromba serve a dirigere meglio gli alti; talvolta, per diffondere meglio i suoni, si impiegano più trombe. In certi casi il **tweeter** è montato davanti al cono dell'altoparlante principale, in altri casi dietro e i suoni, mediante un canale che attraversa il sistema magnetico, giungono alla tromba posta sul davanti. Tranne i casi sopra illustrati, il **tweeter** non può mai essere montato nello stesso mobile dell'altoparlante principale, ma davanti a questo, dietro o di lato, a distanza non molto grande per evitare che l'immagine musicale si sposti dall'uno all'altro quando l'altezza dei suoni varia. Le frequenze elevate e quelle basse vengono separate mediante un filtro per essere trasferite ai rispettivi altoparlanti.

Il caso b) si avvicina molto al precedente, ma la frequenza d'incrocio (crossover) deve essere scelta più bassa. In generale da un altoparlante si fanno riprodurre i suoni al disotto di 1000 c/s e da un altro i rimanenti; in questo caso l'altoparlante degli alti deve essere provvisto di uno schermo acustico, anche piccolo. E' assai importante che i due altoparlanti fun-

zionino in fase, il che significa che per un senso determinato della corrente nel circuito degli altoparlanti i due coni si debbono spostare nello stesso senso cioè, ad esempio, entrambi in avanti; il controllo si può effettuare mediante una pila per lampadina tascabile, trovando a quale capo dell'altoparlante deve arrivare il polo positivo perchè il cono si porti in avanti. Quando i coni si muovono in opposizione di fase, la curva di risposta globale diviene irregolare nell'intervallo di frequenze riprodotto in comune.

L'effetto spaziale menzionato in c) è attualmente al centro dell'interesse generale. Un'esecuzione musicale ascoltata dal buco della serratura della sala da concerto perde molta della sua bellezza e un altoparlante è talmente piccolo a paragone di un'orchestra che la musica riprodotta ci giunge proprio come attraverso il buco di una serratura. Allo scopo di ridurre questo effetto si impiegano più altoparlanti disposti a una certa distanza fra loro; tutti questi altoparlanti debbono avere all'incirca la stessa curva di risposta per evitare che l'immagine sonora divenga instabile; se ad esempio uno degli altoparlanti riproduce più acuti di un altro, può darsi che vocalizzi su note diverse saltino da un lato all'altro della stanza il che, se non è faticoso per la cantante, è fastidioso per chi ascolta. Anche in questo caso è indispensabile che tutti gli altoparlanti funzionino in fase.

La condizione che tutti gli altoparlanti abbiano la stessa curva di risposta, riguarda solo le frequenze superiori a 300 - 500 c/s; per i suoni più bassi il nostro orecchio è poco sensibile alla direzione ed è sufficiente un solo grande diffusore. Le cassette degli altoparlanti per gli alti possono essere piccole, senza inconvenienti di sorta. Il filtro di separazione ha il compito di evitare che le frequenze più basse giungano agli altoparlanti per gli alti, perchè in tal caso ci sarebbe rischio di sovraccarichi alla frequenza di risonanza.

Si ottengono risultati particolarmente buoni montando gli altoparlanti per gli alti in proiettori diretti verso una parete. Come la luce diffusa rende più piacevole il soggiorno in una stanza d'abitazione, così anche la tonalità del suono riprodotto elettricamente acquista con la diffusione; in questo caso occorre disporre di altoparlanti nei quali il rendimento per le frequenze elevate sia costante e gli altoparlanti la cui curva di risposta è orizzontale per tali frequenze (vedi pag. 121) sono i più adatti.

Nella fig. 96 è rappresentato un esempio di combinazione di altoparlanti concepita per questo scopo. Sul diffusore dei bassi, da 30 c/s a 400 c/s, si vedono i due proiettori per gli alti, da 400 c/s a 20000 c/s, vedi anche la fig. 91. Quando i proiettori sono convenientemente disposti, si può ottenere un'immagine sonora di alcuni metri di ampiezza in cui i diversi strumenti musicali sembrano distribuiti, senza che l'immagine stessa si sposti al variare dell'altezza dei suoni. In tal modo si ovvia anche all'inconveniente costituito dal fatto che un angolo non è il punto più adatto per collocarvi un solista o un'orchestra.

Sul caso indicato in d), cioè quello dell'impiego di più altoparlanti per poter disporre di una maggior potenza, c'è poco da dire; in generale

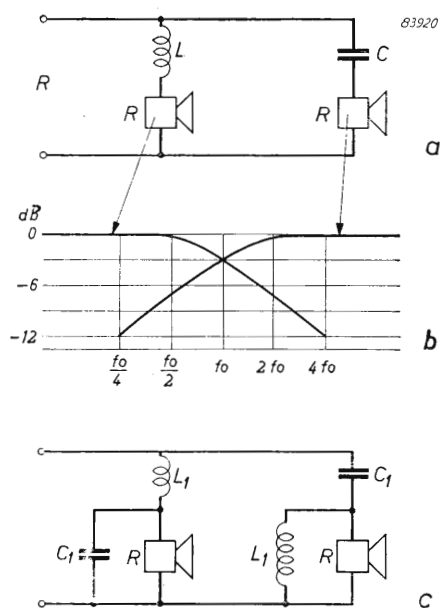



Fig. 97. Filtro di divisione: a) Schema per un'attenuazione di 6 dB per ottava, b) Caratteristica di frequenza dello schema a), c) Schema per un'attenuazione di 12 dB per ottava.

si useranno altoparlanti identici, ma è anche possibile la combinazione con uno degli altri casi. Quando s'impiegano più altoparlanti, occorre accertarsi che le caratteristiche si accordino bene fra loro e che i rendimenti siano uguali, altrimenti il risultato può deludere. E' indispensabile che tutti gli altoparlanti funzionino in fase e occorre controllarlo al momento di effettuare i collegamenti. Inoltre non si dimentichi che inserendo più altoparlanti cambia l'impedenza di carico dell'amplificatore e pertanto occorre prendere un altro trasformatore d'uscita o cambiare presa. L'impedenza risultante di n altoparlanti inseriti in serie, le cui bobine mobili abbiano tutte l'impedenza di R ohm. è uguale ad nR ohm; se gli altoparlanti sono inseriti in parallelo, l'impedenza risultante è uguale ad R/n ohm. Inserendo in parallelo due rami di due altoparlanti in serie, l'impedenza risultante resta uguale ad R ohm.

Il filtro di divisione per trasferire le frequenze alte e quelle basse ad altoparlanti separati, è costituito da un sistema di bobine e di condensatori come rappresentato, ad esempio, nella fig. 97a; la caratteristica di questo filtro è riportata nella fig. 97b; ogni ramo produce un'attenuazione di 6 dB per ottava a partire da una certa frequenza. Una proprietà interessante di questo filtro è che l'impedenza d'ingresso è praticamente uguale a quella di un solo altoparlante, a condizione che i due altoparlanti inseriti abbiano la stessa impedenza e che questa sia sufficientemente indipendente dalla frequenza. Ponendo uguale ad R l'impedenza della bobina mobile più la resistenza di perdita della bobina o del condensatore, si ha:

$$L = \frac{R}{2\pi f_0} \quad C = \frac{1}{2\pi f_0 R} \quad \text{cioè in valori pratici:}$$

$$L = \frac{159\,R}{f_0}\ \text{millihenry} \qquad C = \frac{159000}{f_0 R}\ \text{microfarad}$$

dove f_0 rappresenta la frequenza d'incrocio (crossover).

Esistono anche dei filtri la cui caratteristica scende più rapidamente. Quello rappresentato nella fig. 97c dà un'attenuazione di 12 dB per ottava; anche in questo caso l'impedenza d'ingresso è uguale all'impedenza della bobina mobile di un solo altoparlante. Questo filtro viene usato quando la frequenza d'incrocio dista meno di 2 ottave da quella del controllo di tono (la frequenza d'incrocio dei controlli di tono delle figure 61 e 62 è di 1000 c/s, vedi anche le figure 37 e 38); altrimenti può accadere che, se ad esempio il controllo degli alti si trova nella posizione di massimo, l'altoparlante dei bassi riceva troppi alti.

I valori dei diversi elementi componenti si ricavano dalle formule seguenti:

$$L_1 = \frac{225\,R}{f_0} \text{ millihenry e } C_1 = \frac{112000}{f_0\,R} \text{ microfarad}$$

Non è opportuno che l'attenuazione superi i 12 dB per ottava.

Come condensatori si possono usare degli elettrolitici o all'occorrenza dei condensatori normali, con una tensione di lavoro almeno 30 volte maggiore delle tensioni alternate previste sull'altoparlante. Per le bobine si usano di preferenza nuclei di ferroxdure che conciliano le esigenze del piccolo ingombro e della bassa resistenza di perdita. I dilettanti che desiderano farsi da sè i filtri è meglio che ricorrano a bobine ad aria (fig. 98; diametro del filo mm 1,6; bobina con meno di 350 spire a = cm 2,5, b = cm 2,5, c = cm 7; bobine più grandi a = cm 2,5, b = cm 4, c = cm 10); l'uso di bobine con nucleo magnetico non realizzate a regola d'arte può provocare notevole distorsione.

I filtri sfasano la corrente, che nel ramo degli alti risulta a 90° in anticipo e nel ramo dei bassi a 90° in ritardo. Occorre tenere conto di questi sfasamenti nel collegamento degli altoparlanti; le connessioni debbono cioè essere stabilite in modo che in assenza di filtro di separazione gli altoparlanti funzionino in opposizione di fase.

§ 7. Il locale d'ascolto

Sull'acustica sono già stati scritti tanti libri che è difficile, se non impossibile, leggerli tutti e quindi per non aumentare eccessivamente la mole delle cose da leggere, saremo brevissimi sull'argomento. Facciamo notare anzitutto che assai spesso non si tiene presente il fatto che il miglior complesso grammofonico non può dare i migliori risultati in un locale con proprietà acustiche cattive, il che d'altronde si verifica non solo per un grammofono elettrico ma anche per le sorgenti di musica originali. Ci sono tanti locali e tante sale, ce ne so-

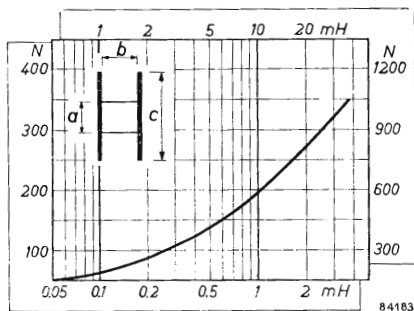



Fig. 98. Grafico per il calcolo delle bobine per filtri di divisione.

no di acusticamente buone e di acusticamente cattive.

Una delle caratteristiche acustiche più importanti di un locale è il **tempo di riverberazione;** questo tempo è il numero di secondi che impiega l'intensità di un suono a diminuire di 60 dB dopo che il suono originale è cessato. Il tempo di riverberazione è funzione delle dimensioni del locale e della natura delle pareti; per locali d'abitazione deve avere un valore di circa ½ secondo. E' possibile calcolare il tempo di riverberazione di un locale ma questo calcolo presenta alcune difficoltà e non è sempre esatto; pertanto per chiarire le idee preferiamo ricorrere ad un'analogia.

Una stanza interamente dipinta di bianco non è accogliente perchè la luce vi è troppo viva; ma anche una stanza in cui pareti, soffitto e pavimento siano neri non è piacevole; in nessuna delle due un bell'oggetto viene messo bene in valore. Scegliendo un insieme di colori adatto si può creare l'intimità e dare a ciò che è bello l'ambiente appropriato. Lo stesso avviene per i suoni; in un locale dalle pareti nude il suono rimbomba e l'ascoltatore si stanca presto di questo suono brutale; in un locale con troppe tende e drappeggi il suono risulta affievolito e piatto e non è avvincente. Una stanza con due pareti bianche e due nere può darsi che abbia il giusto coefficiente medio di riflessione per la luce, ma una stanza in cui tutte le pareti abbiano all'incirca lo stesso coefficiente di riflessione soddisfa molto meglio. Analogamente un locale d'ascolto in cui le superfici riflettenti e assorbenti il suono siano regolarmente distribuite avrà un'acustica migliore di una sala in cui la metà delle pareti siano nude e l'altra metà ricoperte di pesanti drappeggi.

Se il suono risulta affievolito si consiglia di scoprire le pareti o di togliere le tende dalle finestre, anche se è di sera, e se la musica risulta troppo squillante occorre decidersi ad acquistare delle drapperie o dei tendaggi o a stendere un tappeto più spesso. Un calcolo preciso è assai arduo (tranne che per il prezzo delle tende) e per chi vuole fare esperimenti con quello che ha già in casa, diamo la tabella seguente.

Assorbimento del suono		
debole	medio	forte
Muratura di calcestruzzo Muratura di mattoni Vetri Tendaggi di tulle Linoleum Muri intonacati e tappezzati in carta Legno Gomma	Tendaggi di stoffa leggera Agglomerati di fibre vegetali (tipo celotex) Quadri Coperte leggere di lana Feltro sottile Tappeti leggeri	Tappeti di spessore maggiore di 5 mm Stuoie di cocco Tendaggi di velluto (pesante) Cuscini Piumini Mobili imbottiti Celotex acustico

Per citare un esempio sulle proprietà di tali materiali segnaliamo che ricoprendo di celotex le pareti di un locale di m 5 x 4 x 2,5 si ottiene all'incirca il tempo di riverberazione giusto. Se però il celotex viene verniciato, l'acustica cambia completamente, il tempo di riverberazione aumenta e la musica diviene più dura e stridula.

Se per migliorare l'acustica si pongono sulle pareti dei pannelli di celotex lasciando dello spazio fra i pannelli e il muro, può darsi che questo spazio si comporti come una cassa armonica chiusa, non smorzata, ed eserciti un'influenza dannosa sull'acustica del locale; in tale caso occorre praticare nei pannelli di celotex molti fori da 1 mm. Se i pannelli di celotex hanno anche la funzione di isolare il più possibile il locale dai rumori esterni, è consigliabile verniciare la faccia verso il muro dei pannelli, il che riflette i rumori parassiti; in questo caso, naturalmente, i pannelli non vanno forati. Il celotex acustico e altri materiali speciali del genere assorbono il suono in modo troppo energico per poterne rivestire un locale completamente; questi materiali sono inoltre assai delicati e debbono essere messi in opera in modo che non si possano toccare. Anche per questi materiali la verniciatura riduce le proprietà assorbenti dei suoni.

Per i suoni più bassi, che sono i meno assorbiti da un rivestimento, il pavimento è in generale uno dei fattori più importanti. In un locale con un leggero parquet e specialmente quando sotto il parquet c'è un'intercapedine d'aria, i bassi si sviluppano di solito assai bene, talvolta anche troppo, in modo da dominare su tutto il resto; quando ciò si verifica è consigliabile appoggiare il baffle o il diffusore su piedini di gomma o su cuscinetti di schiuma di gomma, con grande soddisfazione, fra l'altro, anche degli inquilini del piano di sotto.

Il caso opposto, un pavimento di pietra o di conglomerato cementizio, è nocivo per i bassi e in tal caso i bassi risultano di solito troppo deboli e smorti, sia che si tratti di un'orchestra reale che di una riproduzione elettronica. Una prova assai efficace è di porre una volta il grammofono nella stanza da bagno e poi in una camera da letto di dimensioni possibilmente non molto dissimili; è come se si sentissero musiche completamente diverse. Prove del genere permettono di farsi una idea sull'acustica della stanza di soggiorno o del locale di ascolto.

E' evidente che i rumori estranei debbono essere ridotti al minimo, perchè la musica non si distacca mai bene da uno sfondo di rumori dovuti al traffico, tintinnìo di tazze o chiacchierìo; se il livello di questi rumori è elevato, sono le frequenze più alte e quelle più basse le prime ad esserne mascherate. Le vibrazioni di finestre, tazze, bicchieri e soprammobili provocate dalla musica sono fastidiose, ma le cause di questi rumori estranei possono essere individuate ed eliminate facilmente. Un caso più difficile, assai istruttivo, ci si è presentato tempo fa ed è stato quello di un'apparecchiatura grammofonica che nella riproduzione dei bassi faceva sentire a un certo punto una distorsione; dopo avere controllato pick-up, amplificatore ed altoparlante si è trovato che la causa risiedeva nel fatto che un mobiletto acquistato separatamente e che non aveva nulla in comune con il grammofono, entrava in vibrazione

per certi suoni e non solo li rinforzava ma produceva anche armoniche sgradevoli.

Per quanto riguarda il collocamento dell'altoparlante abbiamo già fatto notare che un angolo è il luogo più adatto; aggiungiamo che è sempre raccomandabile porre l'altoparlante più lontano possibile dagli ascoltatori. Benchè questo richieda un maggior numero di andate e ritorni quando il giradischi e l'amplificatore siano nello stesso mobile dove è l'altoparlante, il piccolo disagio che ne consegue è largamente ricompensato dalla maggiore ampiezza e naturalezza che assume la musica per il fatto che le riflessioni e la risonanza del locale risultano ben valorizzate.

Se si impiegano più altoparlanti, di cui uno posto in un locale vicino, il risultato ottenuto è in generale migliore quando il tempo di riverberazione di questo locale è un po' maggiore di quello del locale di ascolto, cioè quando le pareti assorbono meno il suono.

CAPITOLO X

ALTA FEDELTA'
GIUDIZIO E PROVE SULL'ALTA FEDELTA'

§ 1. Alta fedeltà

Dal titolo di questo libro ci si poteva attendere una definizione del termine **alta fedeltà** fin dal primo capitolo. La verità è però che non esiste una definizione semplice del termine **alta fedeltà** e il gran numero di articoli scritti sull'argomento sta ad indicare che la definizione è più complessa di quella data qualche tempo prima del 1940, cioè « riproduzione di tutte le frequenze fino a 7500 c/s almeno »; questa definizione, benchè superata, aveva il pregio di essere una definizione tecnica e obiettiva.

Lo scrivente ha una sua definizione personale, soggettiva e cioè « una riproduzione tale che la musica dia lo stesso piacere come se la si ascoltasse nella sala da concerto ». Poichè la registrazione musicale ha anzitutto e soprattutto la musica come fine, la tecnica non è che lo strumento necessario, daremo la precedenza alla discussione della definizione soggettiva.

E' risaputo che esistono dei musicisti famosi che posseggono dei grammofoni elettrici che danno solo una riproduzione povera e distorta dei suoni originali, ma che i possessori ascoltano con grande attenzione; quando usano espressioni di disapprovazione non si riferiscono al suono sgradevole che esce dall'apparecchio ma si riferiscono all'interpretazione, sulla quale magari non sono d'accordo. E' che essi ascoltano con la loro facoltà di evocazione musicale e i suoni che escono dall'altoparlante sono per la loro memoria poco più della bacchetta del direttore. L'autore di queste pagine, che non è certamente un musicista di fama, è più esigente; infatti il risultato al quale desidererebbe arrivare è che, ascoltando con gli occhi chiusi della musica riprodotta, si accorgesse di essere in casa anzichè nella sala da concerto solo per la mancanza dei rumori provocati dal pubblico. Questo non vuole dire che le esigenze di un ascoltatore per quanto riguarda la qualità della riproduzione siano inversamente proporzionali al suo talento musicale, ma solo che alcune persone in possesso di una grande esperienza in fatto di musica si accontentano talvolta di una riproduzione mediocre e che altre persone, meno esperte, sono più esigenti.

All'estremo opposto c'è la grande massa di coloro la cui esperienza musicale è limitata quasi esclusivamente al campo della musica riprodotta e che sono anch'essi di esigenze limitate. Questi due estremi hanno in comune l'opinione che non ci sia altro da chiedere, i primi perchè non conoscono le possibilità della tecnica o perchè non s'interessano di tali questioni, i secondi perchè non conoscono la vera musica. Riconosciamo che l'abbozzo che abbiamo fatto della situazione è esagerato, ma se è difficile scrivere a proposito di musica, trattare del **suono** è

anch'esso cosa assai ardua e per tale motivo abbiamo dato a quanto precede un certo carattere di assolutezza, che non è sempre di circostanza.

Coloro che si accontentano di una fedeltà di riproduzione modesta, quando ascoltano una riproduzione ad alta fedeltà hanno reazioni non sempre favorevoli; al contrario. Non è difficile ammetterlo per gli ascoltatori che per una ragione o per l'altra non frequentano mai le sale da concerto e quindi non conoscono la vera musica. Per citare un esempio singolare, chi non avesse mai sentito in vita sua altro che un violoncello, impiegherebbe qualche tempo per abituarsi al suono del violino; analogamente chi non ha ascoltato che riproduzioni cattive dovrà abituarsi tanto alla musica originale che alle buone riproduzioni.

Per il musicista il caso è alquanto diverso. Quando la riproduzione non è che una pallida imitazione dell'originale, essa non ha altro compito che di accompagnare la memoria; quando invece la riproduzione è ottima, simile all'esecuzione in sala, non c'è più motivo per una evocazione interiore; la musica è là, integrale e avvincente. Il direttore, per il quale nella sala da concerto l'orchestra è il mezzo ai propri ordini, ha questa volta la possibilità di fare dei paragoni con un'orchestra che non lo segue, ma che al contrario lo precede. A ciò si aggiunga che nell'isolamento intimo di una stanza di casa propria lo spirito può concentrarsi sulla musica molto meglio che in auditorio. Specialmente poi quando un tale musicista ascolta, attraverso un impianto di riproduzione veramente buono, un brano che non conosce o uno strumento di qualità eccezionali, e soprattutto delle voci, le sue orecchie si aprono e comincia a manifestare esigenze particolarmente severe a proposito della riproduzione.

La prova delle difficoltà alle quali può dare luogo la scarsa conoscenza delle possibilità tecniche si può dedurre da una critica fatta qualche tempo fa all'esecuzione grammofonica di A. Grumiaux del 4° concerto per violino di Paganini. Il critico scrisse che il solista non era ancora perfettamente padrone dello strumento; la causa delle imperfezioni non era però un difetto di maestria dell'artista ma la distorsione dell'amplificatore dell'impianto di riproduzione al quale il critico aveva ascoltato. Questo esempio mostra fra l'altro la necessità di prendere sempre l'originale come riferimento per giudicare di musica grammofonica.

La definizione soggettiva che abbiamo dato sopra non è scevra di difficoltà più o meno nascoste. Quando Grumiaux suona in una sala, con l'orecchio appoggiato al suo Stradivarius, sente il suono dello strumento in modo diverso da noi che stiamo a diversi metri di distanza. Il microfono dell'apparecchiatura di registrazione è posto vicino al violino e ci trasmette i suoni attraverso il disco come li sente il solista; questa intimità che ci sfugge nella sala da concerto ci sorprende in privato. Ciò è ancora più evidente nelle registrazioni orchestrali; i violinisti i loro strumenti li sentono appena a causa della vicinanza di altri strumenti più forti. In sala, a distanza si sente un suono d'insieme. In casa, se il microfono o i microfoni sono stati ben disposti, i violini si sentono come li sentirebbero i professori che li suonano se non ci fosse il volume di suono circostante. In un disco possiamo spesso distinguere con maggior

facilità che a un concerto le differenze fra un Bechstein, un Pleyel e uno Steinway, oppure fra uno Stradivarius e un Amati, il che può generare una certa confusione, soprattutto in persone che non hanno profonte conoscenze specifiche.

Da quanto detto può dedursi un'altra definizione per l'**alta fedeltà** e cioè « una riproduzione tale che siano perfettamente messe in evidenza le caratteristiche dei singoli strumenti ». Con tanti aspetti diversi della questione è assai difficile giudicare ad orecchio una riproduzione grammofonica, ma in ultima analisi non c'è altro criterio da seguire.

Anche la definizione tecnica dell'**alta fedeltà,** che dovrebbe essere oggettiva, presenta le sue difficoltà e non ci risulta che sia stata ancora enunciata in modo definitivo. Uno dei requisiti più evidenti è che la riproduzione deve essere priva di ogni distorsione. Potremmo dire che per l'alta fedeltà:

1. La intera gamma delle frequenze udibili deve essere riprodotta uniformemente.
2. La dinamica della musica originale deve essere conservata senza alterazioni.
3. Anche nei **fortissimo** più forti, la distorsione non lineare e in particolare la distorsione d'intermodulazione e la distorsione da battimento (beat note distorsion) debbono risultare al disotto del minimo percettibile.
4. I rumori parassiti, come il ronzio (hum), il rumore di fondo (noise), ecc. non debbono disturbare, nemmeno nei **pianissimo.**
5. I transitori (attacchi, impulsi sonori) debbono essere riprodotti senza alterazioni, cioè senza fenomeni di risonanza.

Fissando per ognuno dei punti sopra enumerati una condizione quantitativa da osservare, si può arrivare alla seguente definizione tecnica dell'alta fedeltà:

1. Riproduzione lineare entro $\pm$ 2 dB, fra 16 e 20000 c/s.
2. Estensione della dinamica 60 dB.
3. Distorsione d'intermodulazione inferiore al 2% a intensità sonora massima; distorsione da battimento inferiore allo 0,75%.
4. Rumori parassiti inferiori di 60 dB rispetto ai **fortissimo.**
5. Assenza di risonanze nell'impianto fra 0 e 60.000 c/s; rotazioni di fase inferiori a 10^{0} fra 0 e 20000 c/s.

Questa definizione è però anch'essa soggettiva perchè non si è ancora sufficientemente ragguagliati sul grado di tollerabilità dei diversi tipi di distorsione per poter determinare con rigore scientifico ciò che è ammissibile e quello che non lo è. Le condizioni di cui sopra potrebbero quindi tanto essere rese più severe che attenuate perchè la loro scelta entro limiti logici può essere soggetta a un certo arbitrio. Questo non sarebbe ancora cosa grave se ci fosse la certezza che ottenendo con prove e misure i risultati migliori l'impianto desse anche la migliore riproduzione; ma purtroppo non è sempre così. Manifestamente c'è ancora un certo numero di fattori che sfugge alla nostra indagine, anche se vengono effettuate altre misure oltre quelle sopra citate.

Questi fattori sono di natura psico-fisiologica; eccone uno illustrato

con un esempio. Nel corso di una prova il suono di un pianoforte posto nello studio del laboratorio fu riprodotto in un locale contiguo; il microfono, l'amplificatore e l'altoparlante potevano essere considerati come i migliori che la tecnica moderna potesse offrire. Fummo però delusi dal suono riprodotto fino a che avvicinando un orecchio al microfono e chiudendoci l'altro con un dito, potemmo constatare che il pianoforte vero suonava praticamente come l'altoparlante. La conclusione è che l'orecchio elettrico unico, cioè il microfono, non può sostituire le due orecchie umane.

Una soluzione, che non è ancora l'ideale, è quella di impiegare due microfoni con due amplificatori e due altoparlanti; tale tipo di riproduzione, stereofonica, è migliore infatti della riproduzione con un solo canale, ma anche facendo astrazione dal costo, non sarebbe di alcuna utilità per l'amatore perchè non esistono ancora per usi pratici dischi previsti per questo scopo. Inoltre da prove effettuate in studio si è constatato che sostituendo l'unico altoparlante con più altoparlanti, riproducenti intervalli di frequenze diverse, e disponendoli opportunamente, ci si può avvicinare molto al suono originale.

Da un punto di vista strettamente scientifico, l'inserzione di più altoparlanti in un solo ambiente e su un unico amplificatore costituisce una specie di distorsione, ma questa alterazione migliora il risultato finale. E' noto inoltre che con un responso di frequenza non del tutto pianeggiante nella zona centrale, la riproduzione può sembrare più naturale: altro esempio di miglioramento della qualità mediante distorsione. Potremmo citare altri esempi e vedere che ci sono ancora molte altre cose da imparare al riguardo; la morale da trarre da quanto sopra detto è che una volta effettuate tutte le misure che si vogliono, la prova dell'ascolto è essenziale per arrivare a delle conclusioni.

La cultura musicale non è la prima condizione richiesta per l'apprezzamento ad orecchio, bensì una pratica di ascolto di diversi anni e una sana cultura tecnica, accompagnata da una buona memoria per i suoni. Tutto questo non basta se l'ascoltatore non dispone di una buona dose di autocritica che lo trattenga per esempio dal manifestare più o meno inconsciamente la sua preferenza per dei bassi troppo accentuati o per degli alti esagerati o dalla tendenza ad approvare quando ascolta la riproduzione di un impianto che ha realizzato lui stesso.

Quanto precede probabilmente deluderà il profano che vuole una definizione precisa dell'alta fedeltà. Questo spiega anche come apparecchi di scarso valore possano portare talvolta l'etichetta **Hi-Fi** senza che il costruttore abbia noie con la giustizia. Una definizione dell'alta fedeltà non c'è ancora, ma un criterio sì: è il godimento spirituale che procura un ascolto prolungato ed attento. Benchè non si voglia pretendere che l'ascolto di dischi sostituisca la presenza ai concerti, esiste però la possibilità che dopo aver ascoltato una sinfonia, un **a solo** di violino o del canto, si dica: « Come deve essere bello sentirlo a teatro! ». Se, fatta astrazione dai fattori psicologici, il vostro impianto è tale che gli manca solo la sala, è assai probabile che abbiate trovato la formula dell'alta fedeltà.

§ 2. Il giudizio

Il giudizio finale su un impianto grammofonico è dato dall'orecchio. Poichè la nostra memoria musicale è in genere abbastanza buona per quanto riguarda le composizioni e i motivi, mentre è piuttosto imprecisa per quanto riguarda i toni e i timbri, la formulazione di questo giudizio non è cosa semplice se non c'è materiale per un paragone immediato. Prove recentemente effettuate al Concertgebouw di Amsterdam hanno mostrato quanto cammino ha percorso la tecnica della registrazione sonora; fra l'altro vi è stato suonato un pezzo per pianoforte a quattro mani, una delle due parti però era stata registrata precedentemente e riprodotta durante l'esecuzione. I musicisti, i tecnici e gli amatori presenti non furono in grado di dire, senza guardare, qual'era la parte che sentivano attraverso il canale della riproduzione.

Poichè gli strumenti musicali in possesso dei privati sono in generale meno buoni di quelli impiegati nelle registrazioni grammofoniche, poichè inoltre l'acustica del locale d'abitazione è diversa da quella della sala da concerto e poichè ci sono assai poche persone (fatta eccezione per i tecnici adibiti alle riprese sonore) che possano disporre di orchestre sinfoniche per fare dei paragoni, occorrerà malgrado tutto ricorrere alla memoria per farsi un'opinione. Abbiamo elencato qui sotto un certo numero di dischi che possono essere utili al riguardo. Non è che una piccola scelta fatta in un repertorio vastissimo e non ha affatto lo scopo di indirizzare gli acquisti di un collezionista. Ad esempio il disco « Quadri di una esposizione » di Mussorgski deve essere acquistato per il suo interesse musicale e non per la qualità della registrazione; ma il possessore di questo disco può servirsene per ricavare un'indicazione sulla qualità dell'impianto di riproduzione (nell'elenco seguente un asterisco vicino al numero di catalogo indica che sul disco citato vi sono anche altre composizioni).

a. Riproduzione dei bassi

I grossi tamburi e i timpani hanno una fondamentale assai bassa. Quando la riproduzione dei bassi di un apparecchio è insufficiente, la grancassa non viene riprodotta o dà un rumore sordo e i timpani danno un rumore come se non fossero ben tesi. La grancassa o altri grossi strumenti a percussione si sentono molto bene nei dischi seguenti:

Mussorgski-Ravel « Quadri di una esposizione » (A 00607 R) nella parte « La porta di Kiev »;

Ciaikowski « Ouverture solennelle 1812 » (A 00603 R*) finale;

Beethoven « Nona sinfonia » (A 00145/46 L) ultima parte;

Dvorak « Sinfonia n. 5 » (A 00154 L) all'inizio;

Duke Ellington « Ellington Uptown » (B 07008 L) in « Skin Deep » e all'inizio di « The Mooche »;

Banda della Regia Marina Olandese « Music by the Marines n. 2 » (P 10050 R) specialmente in « Manoeuvre March ».

Anche le registrazioni di organo comprendono talvolta dei buoni bassi; citiamo fra tutte:
Mendelssohn-Bartholdy « Suonata n. 2 » (N 00118 L).

Il suono più basso che lo scrivente abbia trovato su un disco è quello del gong alla fine di « Begdja - The Gamalan Boy » (N 00165 L); la sua frequenza fondamentale è sotto i 20 c/s e quindi non c'è nessun motivo di lamentarsi se un grammofono non riproduce questo colpo di gong.

Nel disco « L'Apprenti Sorcier » di Dukas (A 00175 L*) ci sono fra gli altri, nel pezzo dove il manico della granata comincia a riempire la tinozza, alcuni suoni bassi di violoncello che debbono essere molto ben percettibili e riprodotti con altezze nettamente differenti.

b. Riproduzione dei suoni centrali

Quando le frequenze centrali non vengono riprodotte con sufficiente intensità, la musica diviene piatta e se c'è del canto, le voci dei cantanti non si distaccano dalla musica e danno l'impressione di provenire da dietro l'orchestra. L'intelliggibilità del canto è allora anch'essa poco buona, specialmente quando le frequenze più basse risultano esaltate da una risonanza del mobile o dell'altoparlante. Ascoltando le registrazioni elencate qui appresso si deve poter seguire bene il testo delle parole (conoscendone la lingua):
Leoncavallo « I Pagliacci » (A 01102/03 L);
R. Strauss « Salomé » (A 00163/64 L);
« Patachou Chante Brassens » (P 76010 R);
« American Vocal Parade I » (B 07642 R);
Mascagnì « Cavalleria Rusticana » (A 01612/13 R).

Abbiamo citato solo alcune delle registrazioni fra molte altre, ugualmente adatte allo scopo, soprattutto del repertorio più noto.

c. Riproduzione degli alti

Il violino e alcuni strumenti a percussione si prestano assai bene per giudicare la riproduzione degli alti. Citiamo:

Paganini « Concerto n. 4 per violino e orchestra » (A 00741 R).
Il violino deve avere una sonorità chiara ma non acuta. Se si riscontra distorsione nelle note più alte del violino ciò indica una risonanza ad alta frequenza (cattiva risposta ai transitori, vedi pagina 95).

Mozart « Suonata per violino e pianoforte K 301 » e « K 304 » (A 00112 R).
Stesse osservazioni. La sonorità del violino Paolo non è però così ricca alle frequenze più elevate come quella del Tiziano Stradivarius nel disco precedente e se la differenza non risulta netta è indice di una riproduzione limitata degli alti.

Beethoven « Sonata n. 9 per violino e pianoforte - a Kreutzer » (A 01609 R).
Anche in questo disco il violino ha una sonorità chiara. A paragone delle due registrazioni precedenti, la riproduzione degli alti deve essere leggermente attenuata per il buon equilibrio dei toni.

Kreisler « Rondino su un tema di Beethoven » (N 02101 L).

In questa registrazione il suono del violino è più sereno che nella Sonata a Kreutzer.

I triangoli debbono essere nettamente percettibili e riconoscibili in:
Liszt « Concerto per pianoforte n. 1 » (A 00144 L) seconda parte;
Chabrier « España » (N 00161 L*);
Dukas « L'Apprenti Sorcier » (A 00175 L*).

Si debbono sentir bene i piatti nelle registrazioni seguenti:
Liszt « I Preludi » (A 00144 L*) verso la fine;
Chabrier « España » (N 00161 L*).

Gli ottoni, vigorosi ma non stridenti in:
Banda della Regia Marina Olandese « Music by the Marines n. 2 » (P 10050 R);
Santorsola « Concertino per chitarra e orchestra » (N 00626 R*);
Dukas « L'Apprenti Sorcier » (A 00175 L*);
Mussorgski-Ravel « Quadri di una esposizione » (A 00607 R*);
Ciaikowski « Ouverture Solennelle » 1812 (A 00603 R*).

Nella « Messa solenne per 53 voci » di Benevoli (A 00622/3 R), si deve distinguere chiaramente di quando in quando la « s » forte tedesca. In « Sirènes » di Debussy (A 00160 L*) invece non si deve sentire; se si nota, vuol dire che si verifica una risonanza dannosa nel pick-up oppure nell'altoparlante oppure nell'amplificatore. Nella musica da ballo, la differenza fra spazzole e maracas deve essere nettamente percettibile.

Potenza massima

La riproduzione non deve risultare distorta nei **fortissimo** delle registrazioni sopra menzionate: « Ouverture Solennelle 1812 », « Quadri di una esposizione », « Sinfonia n. 5 » di Dvorak e « I Pagliacci », come pure nelle « Ouvertures Coriolano ed Egmont » di Beethoven (A 00145/6 L*), in « Pierino e il lupo » di Prokofieff (N 02605) e in molti altri brani di musica sinfonica. Poichè è sempre difficile giudicare se la riproduzione è sull'intensità sonora giusta e non è nè troppo forte nè troppo debole, è consigliabile regolare preventivamente il volume su un **pianissimo** in modo che il suono sia sentito effettivamente assai piano ma ancora in tutta la sua chiarezza (per esempio nella parte Catacombe dei « Quadri di una esposizione »). Se un certo brano non comprende dei **pianissimo** ben definiti, l'amplificatore può essere regolato al livello giusto con l'ausilio di un **a solo** molto basso di violino o di pianoforte (per esempio Mozart K. V. 301).

Strumenti di musica diversi

Oltre quelli già menzionati, i dischi seguenti comprendono brani assai nitidi di alcuni strumenti.
Pianoforte: Mussorgski « Quadri di una esposizione » (N 00652 R): i bassi sono molto sonori;
Rachmaninoff « Concerto n. 2 per pianoforte e orchestra » (A 00162 L): id.
Mozart « Suonate K 301 e K 304 » (A 00112 R).

Il piano Mozart suonato da Alice Hersch è molto diverso dai due precedenti per la sonorità più limpida; la differenza deve essere net-

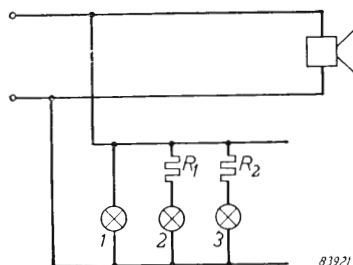



Fig. 99. Circuito per le misura della tensione d'uscita:
1, 2, 3 = lampadine 2,5 V, 0,1 A
R_1 = 3,75 Ohm, 1 W;
R_2 = 9 Ohm, 1 W.

ta. Una risonanza alle basse frequenze rende il piano Mozart troppo pesante, mentre una riproduzione dei bassi eccessivamente limitata avvicina troppo i pianoforti di gran classe suonati da Uninsky e de Grot al piano ordinario e al Mozart.

Ravel « Ma mère l'oye » (N 00637 R*);
Lavry « Hora » (N 00641 R*): molte note alte brevi (staccato);
Gould « Interplay » (N 00130 L*);
Liszt « Concerto n. 1 per pianoforte e orchestra » (A 00114 L*), (A 00200 L*).

Batteria: fra l'altro in « Spirituals » di Gould (N 00130 L*), nella « Danza dei Sette Veli » (Salomé di R. Strauss), nel disco già citato « Ellington Uptown » e in « Sophisticated Swing » di Les Elgar (B 07656 R).

Chitarra: disco d'insieme realizzato da Luise Walker (N 00626 R), comprendente il Concertino di Santorsola già citato; in questa registrazione il microfono è stato collocato vicino alla chitarra in modo che l'effetto di risonanza della sala è assai poco marcato.

Clavicembalo: la serie di Bach, nella esecuzione di Isolde Ahlgrimm; il suono di questo strumento deve risultare perfettamente puro.

Violoncello: Bruch « Kol Nidrei » (N 00107 R); Dvorak « Concerto per violoncello e orchestra » (A 00687 R).

Clarinetto: Mozart « Concerto per clarinetto e orchestra » (A 00698 R); « The new Benny Goodman Sextet » (B 07024 L).

Tromba: Verdi « Gloria all'Egitto » (Aida) (S 06018 R*); Harry James « Soft lights, sweet trumpet » (B 07603 R).

Diversi strumenti in: « Pierino e il lupo » di Prokofieff, nel « Concerto n. 3 per pianoforte e orchestra » (A 00650 R) dello stesso compositore e in « Le carnival des animaux » (N 02601 R) di Saint-Saëns.

§ 3. Misure sui grammofoni

Sugli impianti di riproduzione sonora si possono eseguire molte misure che però, ad eccezione di una, richiedono troppe cognizioni tecniche per poter essere effettuate da persone non specializzate; inoltre il costo della serie di strumenti di misura è così elevato che solo per questo il dilettante deve rinunciarvi. Con poche conoscenze tecniche e un minimo di strumenti si può ricavare solo la caratteristica di frequenza di un grammofono. Il metodo consiste nel mettere sul piatto portadischi un disco di frequenza e nel misurare la tensione ai capi dell'altoparlante per mezzo di un voltmetro a valvola. I dischi di frequenza di lunga

durata (33⅓ giri al minuto, microsolco) costano all'incirca come le registrazioni di musica classica; altrettanto proficuamente però possono essere usati da un dilettante i dischi di frequenza a 45 e 78 giri al minuto, più a buon mercato. Un voltmetro a valvola è abbastanza caro, ma la maggior parte dei voltmetri di altro tipo in corrente alternata, oltre a non costare molto meno, non sono adatti allo scopo.

Fig. 100. Caratteristica di frequenza rilevata mediante il misuratore d'uscita della fig. 99.

La fig. 99 riproduce un circuito assai semplice, utilizzabile a questo scopo, da inserire in parallelo sull'altoparlante e comprendente 3 lampadine in parallelo, di cui due con una resistenza in serie. Se a questo circuito si applica una tensione di 0,6 V, la lampadina 1 comincia appena ad accendersi e dà la luce che darebbe una testa di chiodo portata al rosso; quando la tensione passa da 0,6 V a 0,84 V, comincia ad accendersi la lampadina 2 e quando la tensione passa a 1,2 V comincia ad accendersi la lampadina 3; in quest'ultimo caso le altre due lampadine danno luce più viva.

Poichè il rapporto fra le tensioni 0,6 V e 0,84 V e 0,84 e 1,2 V è uguale ad 1/1,4, il che corrisponde a 3 dB, questo circuito è indicato per rilevare una caratteristica di frequenza.

Il metodo da seguire consiste nel porre il pick-up sulla zona di 1000 c/s del disco di frequenza, nell'inserire poi le lampadine sull'altoparlante come mostrato nella fig. 99 e nel regolare il controllo di volume in modo che cominci a dar luce la lampadina 2 (in tal caso la lampadina 1 è già brillante). Si porta poi il pick-up all'inizio del disco; se ad esempio a 400 c/s la lampadina 2 è spenta e la lampadina 1 è appena accesa, ciò significa che a 400 c/s la caratteristica è scesa di 3 dB. Se invece la lampadina 3 comincia a dar luce a 2000 c/s, ciò significa che la caratteristica si è alzata di 3 dB a questa frequenza. Può darsi che le differenze siano maggiori di 3 dB; in tale caso per attenerci all'esempio di cui sopra (vedi fig. 100) si effettuano e si notano prima le misure da 400 c/s a 2000 c/s, poi, a 400 c/s, si regola il controllo di volume in modo che cominci ad accendersi la lampadina 2, si rileva la caratteristica per le frequenze inferiori a 400 c/s e la si traccia di seguito alla parte di curva già rilevata. Se per esempio la lampadina 1 è appena accesa a 200 c/s, ciò vuol dire che a questa frequenza la caratteristica si è abbassata di 3 dB rispetto al livello a 400 c/s e quindi di 6 dB rispetto a 1000 c/s. Se fra 100 c/s e 200 c/s l'intensità luminosa della lampadina non varia, ciò significa che la caratteristica ha andamento orizzontale fra queste due frequenze.

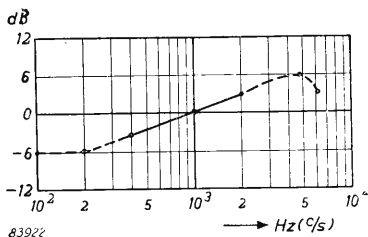
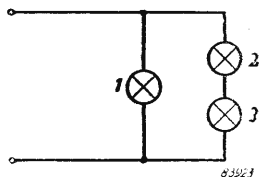



Fig. 101. Versione semplificata del circuito della figura 99.

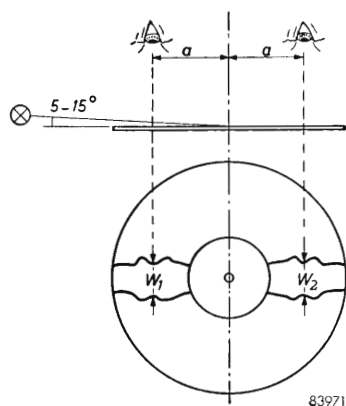



Fig. 102. Determinazione della larghezza della zona brillante sui dischi di frequenza.

A 2000 c/s si riporta indietro il controllo di volume fino a che la lampadina 3 si spegne e la lampadina 2 è di nuovo appena accesa; se si trova che, per esempio, a 4500 c/s la lampadina 3 dà di nuovo luce, ciò vuol dire che a questa frequenza la caratteristica si è alzata di 3 dB rispetto al livello a 2000 c/s ed è perciò di 6 dB sopra il livello corrispondente a 1000 c/s. Se a 6000 c/s la lampadina 2 è di nuovo spenta, il livello a 6000 c/s è uguale a quello a 2000 c/s, ecc.

Benchè tutto questo possa dare a prima vista l'impressione di una certa complicazione, diviene possibile, dopo qualche esercizio, rilevare rapidamente e con sufficiente precisione la caratteristica di frequenza e apportare al controllo di volume, senza interrompere le misure, le correzioni necessarie per differenze di livello superiori a 3 dB. Per evitare bruschi sovraccarichi dovuti alle sovratensioni di chiusura e di apertura, che potrebbero far bruciare le lampadine, è consigliabile accendere l'amplificatore, mettere in moto il giradischi e appoggiare il pick-up sul disco prima di inserire il circuito di misura (all'atto dell'inserzione del circuito di misura il controllo di volume deve trovarsi nella posizione di minimo). Il circuito di misura va disinserito prima di sollevare il pick-up dal disco.

Poichè talvolta è difficile trovare le resistenze giuste, la fig. 101 mostra un altro montaggio, che presenta però l'inconveniente di essere un po' meno preciso. Le lampadine 2 e 3 cominciano ad accendersi quando la tensione supera di 6 dB la tensione per la quale comincia ad accendersi la lampadina 1. All'inizio delle misure si mette il pick-up nella zona di 1000 c/s del disco di frequenza e si regola il controllo di volume prima in modo che cominci a dar luce solo la lampadina 1 e poi in modo che comincino a dar luce anche le lampadine 2 e 3. Si porta quin-

Fig. 103. Formazione di zone brillanti sui dischi grammofonici.

di il controllo di volume il più esattamente possibile in mezzo alle due posizioni di cui sopra; finchè la lampadina 1 è accesa e le lampadine 2 e 3 restano spente, vuol dire che la tensione d'uscita differisce di circa 3 dB dai valori precedenti; inoltre la quantità di luce emessa dalla lampadina 1 indica se la tensione ai capi dell'altoparlante è superiore o inferiore alla tensione corrispondente a 1000 c/s.

I risultati delle misure dipendono non solo dal pick-up, dall'amplificatore e dalla posizione del controllo di volume, ma anche dal disco di misura impiegato. In generale la caratteristica di registrazione di questi dischi figura sull'etichetta; se non figura si può dedurre la velocità della puntina (vedi pag. 32) dalla larghezza della zona brillante che si vede sul disco illuminandolo obliquamente (vedi fig. 102). Per misurare la larghezza mediante un regolo graduato o un calibro a corsoio, si pone l'occhio sulla verticale del punto dove si deve determinare la larghezza della zona brillante e si misura W_1 dalla parte della lampada e W_2 dall'altra. La larghezza media della zona viene calcolata con la formula seguente:

$$W = 2 \; (W_1 \times W_2) \; : \; (W_1 + W_2)$$

e la velocità della puntina è allora data dalla formula:

$$V = (W \times N) \; : \; 190 \quad \text{cm/sec.}$$

(W in mm, N numero di giri del disco considerato).

La velocità deve essere determinata separatamente per ogni banda di frequenza del disco. Questo metodo è assai preciso a condizione che la larghezza della zona brillante sia misurata con grande precisione e i fabbricanti di dischi si servono per questo di appositi microscopi. Occorre inoltre che i raggi luminosi che arrivano sul disco siano paralleli, il che si ottiene per quanto possibile disponendo una sorgente luminosa di dimensioni più piccole possibili a distanza di almeno 1 metro. Pareti chiare, riflettenti, influiscono sfavorevolmente sulla precisione della misura. Il principio di questo metodo si ricava dalla fig. 103; solo i punti del solco indicati con un trattino riflettono la luce verticalmente, tutti gli altri punti del solco la riflettono più o meno obliquamente.

Per grandi ampiezze (a) di spostamento della puntina, la zona in cui la luce viene riflessa verticalmente e colpisce l'occhio dell'osservatore è più larga che per piccole ampiezze di spostamento (b) e se il solco non è modulato (c) c'è solo un punto che riflette la luce verticalmente. La luce incidente è rappresentata dalle frecce riportate nella parte inferiore della figura.

Sulle parti non modulate del disco la larghezza della zona brillante è dunque estremamente piccola, ma se il solco non è liscio e per conseguenza il disco fa sentire del rumore di fondo, la zona brillante ha una certa larghezza anche in queste parti non modulate. Teoricamente si ammette che la zona brillante nelle parti non modulate abbia una larghezza di 1 mm sui dischi a 78 giri al minuto, 1,4 mm su quelli a 45 giri al minuto e 2 mm su quelli a 33 ⅓ giri al minuto; in pratica si trovano spesso valori maggiori perchè la condizione richiesta che i raggi luminosi che cadono sul disco siano perfettamente paralleli non può essere osservata, almeno nel laboratorio del dilettante.

CAPITOLO XI

REGISTRAZIONE MAGNETICA SU NASTRO

§ 1. Principio di funzionamento

Già verso la fine del diciannovesimo secolo, il suono era stato registrato e riprodotto per via magnetica; bisognò però attendere fin dopo il 1940 perchè questo sistema cominciasse a diffondersi. La registrazione magnetica, inventata da Valdemar Poulsen nel 1898, rimase nel primo mezzo secolo molto al disotto del disco di grammofono quanto a qualità di riproduzione; inoltre il costo dell'apparecchio e in particolare del materiale su cui effettuare le registrazioni era molto più elevato di quello dell'apparecchio e del materiale impiegato per la fabbricazione dei dischi. Le ricerche scientifiche e tecniche condotte in quel periodo non sono rimaste però senza frutto ed è oggi possibile eseguire registrazioni magnetiche di qualità eccezionale, senza spese eccessivamente elevate.

La lunga evoluzione subita sta ad indicare che la registrazione magnetica presenta elementi di maggiore complessità rispetto alla registrazione meccanica impiegata nella fabbricazione dei dischi e a questo proposito possiamo precisare che per una delle principali fasi del processo, cioè per la premagnetizzazione ad alta frequenza del nastro, si deve ancora trovare una spiegazione universalmente accettabile. I principi fondamentali però non sono difficili da comprendere.

Un pezzo di acciaio posto all'interno di una bobina percorsa da corrente continua si magnetizza permanentemente; la magnetizzazione dipende non solo dalle proprietà dell'acciaio e dal numero e dalle dimensioni delle spire della bobina, ma anche dal valore della corrente che circola nella bobina stessa. Se il magnete permanente così ottenuto viene fatto muovere vicino a una seconda bobina oppure nel suo interno, nella seconda bobina nasce una tensione elettrica indotta. Ricorderemo che sullo stesso principio funziona il pick-up magnetodinamico descritto a pagina 28. Il valore della tensione indotta dipende, fra gli altri fattori, dalla potenza del magnete.

La fig. 104 mostra come è possibile registrare e riprodurre utilizzando queste due proprietà. La bobina 1 è collegata, attraverso un amplificatore 2, al microfono M; nella bobina si trova un nucleo di ferro dolce con due estremità polari anch'esse di ferro dolce. Quando il microfono raccoglie delle vibrazioni sonore, le tensioni alternate che vi nascono vengono amplificate dall'amplificatore e per conseguenza nella bobina 1 passano delle correnti alternate; per questo motivo fra le due estremità polari del nucleo si stabilisce un campo magnetico alternato con frequenza uguale a quella delle vibrazioni sonore e la cui intensità è in ogni istante proporzionale alla pressione sonora esercitata sul microfono. Lungo il traferro si fa scorrere, a una velocità sufficientemente elevata, un filo di acciaio; il tratto di filo che si trova in un certo istante in corrispondenza del traferro viene magnetizzato dal campo prodotto nel traferro stesso dalla bobina 1.

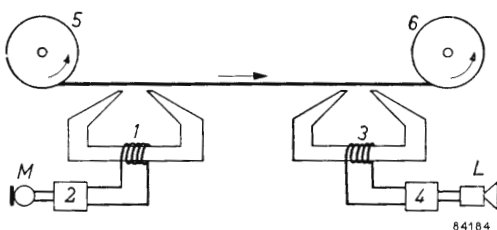



Fig. 104. Principio di funzionamento della registrazione magnetica.

Il senso e l'intensità della magnetizzazione del filo di acciaio sono funzione del senso e dell'intensità della corrente che percorre la bobina. Se dunque la bobina viene percorsa da una corrente puramente sinusoidale (vedi fig. 8), il primo trattino di filo che passa davanti al traferro non viene magnetizzato; i trattini successivi invece vengono magnetizzati e l'intensità di magnetizzazione cresce progressivamente fino a raggiungere un massimo, per decrescere quindi fino a zero. I trattini immediatamente seguenti vengono di nuovo magnetizzati debolmente ma in senso opposto; i successivi maggiormente fino a raggiungere di nuovo un massimo, dopo di che l'intensità della corrente e della magnetizzazione decrescono fino a zero per invertirsi di nuovo. La variazione della corrente viene quindi iscritta sul filo di acciaio sotto forma di magnetizzazione d'intensità e di senso variabili.

Dopo essere passato vicino alla bobina 1 il filo d'acciaio passa vicino alla bobina 3; anche questa è provvista di un nucleo e di estremità polari di ferro dolce. La magnetizzazione del filo d'acciaio determina un campo magnetico fra le estremità polari e quindi nel nucleo della bobina 3; questo campo è molto più debole di quello generato dalla bobina 1, ma varia esattamente nello stesso modo e ne è dunque una replica esatta su scala ridotta; tale replica è inoltre affetta da un certo ritardo a causa del tempo necessario al filo di acciaio per portarsi da 1 a 3. Il campo magnetico alternato induce nella bobina 3 delle tensioni alternate proporzionali in ogni istante all'intensità del campo stesso, in modo che ragionando come abbiamo fatto sopra, si arriva alla conclusione che, se le tensioni alternate indotte nella bobina 3 sono più piccole di quelle applicate alla bobina 1, sono però perfettamente identiche quanto al resto. Se tali tensioni alternate vengono trasmesse dall'amplificatore 4 all'altoparlante L, questo darà una replica esatta delle vibrazioni sonore raccolte poco prima dal microfono.

Le zone magnetizzate permangono sul filo anche dopo che questo è stato avvolto sul rocchetto ricevente (6); quindi se il filo viene riportato sul rocchetto debitore (5) e viene fatto scorrere di nuovo, nel senso indicato nella fig. 104, davanti alle estremità polari della bobina 3, l'altoparlante riprodurrà di nuovo il suono registrato precedentemente, qualunque sia il tempo trascorso dalla registrazione.

Il registratore come sopra descritto funziona, ma presenta numerosi

difetti. La riproduzione sonora è cattiva a causa della distorsione troppo marcata, del livello troppo alto del rumore di fondo, della riproduzione troppo debole degli alti e della non costante intensità del suono.

Vediamo anzitutto quali sono i fattori che influenzano la riproduzione degli alti. Il periodo di un suono, ad esempio, di 10000 c/s è di 0,1 millisecondo. Nei primi 5/100 di millisecondo la corrente percorre la bobina 1 in un certo senso e nei 5/100 di millisecondo successivi la percorre in senso opposto; durante il primo semiperiodo viene dunque magnetizzato, in un senso, un trattino determinato di filo e durante il semiperiodo successivo viene magnetizzato, in senso opposto, il trattino seguente. Prima che inizi il secondo semiperiodo il primo trattino di filo deve lasciare il traferro, altrimenti viene smagnetizzato; la conclusione da trarre è che il filo deve scorrere assai velocemente davanti al traferro e che questo deve essere assai stretto. Supponendo che il filo di acciaio si muova alla velocità di 19 cm/sec, davanti al traferro in 0,05 millisecondi passerà un trattino di filo di 0,00005 x 19 = 0,00095 cm, cioè 0,0095 mm ovvero 9,5 micron; il traferro non può dunque avere una larghezza superiore a 10 micron circa e quello della testina di riproduzione deve soddisfare la stessa condizione.

Anche con un traferro così stretto però la riproduzione di un suono di 10000 c/s lascia molto a desiderare. Anzitutto è difficile fare passare un filo di acciaio molto vicino alle estremità polari delle testine; in secondo luogo il filo di acciaio che corre velocemente a ridosso delle estremità polari vi scava in breve tempo un solco, col pericolo che le particelle metalliche libere finiscano dentro il traferro e lo cortocircuitino; in terzo luogo l'acciaio è un materiale inadatto alla registrazione magnetica di segnali di frequenze elevate, anche se si porta la velocità del filo a 1 m/sec o più.

L'impiego del filo solleva inoltre un certo numero di difficoltà di ordine meccanico. Il filo si magnetizza maggiormente dalla parte che passa più vicina alle estremità polari sulle quali scorre; se in riproduzione il filo si torce un po', vicino al traferro della testina di riproduzione passa la parte magnetizzata di meno (molto meno) e il suono viene riprodotto indebolito. La posizione del filo non può essere fissata e pertanto in riproduzione l'intensità del suono può variare in modo del tutto arbitrario.

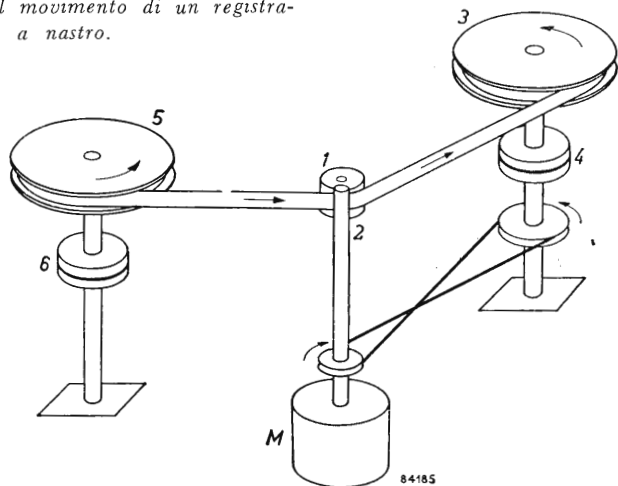
Quando in riproduzione la velocità del filo è diversa da quella in registrazione, l'altezza del suono riprodotto è diversa da quella del suono originale. Nella costruzione della fig. 104 il rocchetto ricevente (6) ruota a velocità costante in modo che man mano che si riempie, la velocità del filo aumenta. Siccome questo si verifica tanto in registrazione che in riproduzione, la cosa non è grave in sè; ma se si toglie un pezzo di filo dopo la registrazione, la velocità di scorrimento della parte rimanente sarà minore di quella che è stata in registrazione, con la conseguenza che l'altezza dei suoni non sarà quella esatta. Il peggio è però che sul rocchetto ricevente il filo non si avvolge con uniformità ma a piccoli scatti; queste variazioni di velocità determinano lamentìo e tremolìo nei suoni.

Come ultimo inconveniente dei registratori a filo citiamo che se il filo di acciaio si piega e dopo alcuni passaggi si rompe, i tronconi per la loro elasticità possono essere proiettati fino a qualche metro di distanza.

§ 2. Nastri per registrazione sonora

Gran parte di questi inconvenienti scompare quando si sostituisce il filo di acciaio con un nastro di acciaio. Quest'ultimo non si torce e quindi il suono riprodotto è molto più uniforme, segue meglio le estremità polari, il che è un vantaggio nella riproduzione degli alti; inoltre il nastro, che è piatto, può essere trascinato a velocità costante in maniera relativamente semplice (vedi fig. 105). Il nastro viene premuto da un rullo elastico 1 contro la puleggia motrice 2 e finchè il motore ruota a velocità costante, il nastro si muove a velocità costante da sinistra a destra. Il rocchetto ricevente 3 viene mosso mediante una cordina dallo stesso motore e deve ruotare alla velocità voluta perchè il nastro risulti sempre ben teso; man mano che si riempie, la velocità di rotazione deve dunque diminuire. La riduzione di velocità viene ottenuta in modo del tutto automatico mediante l'inserzione di una frizione (4) fra la puleggia che porta la cordina e il rocchetto ricevente; la forza esercitata sul nastro resta così sempre costante. Per evitare che il ramo di sinistra del nastro si allenti, il rocchetto debitore 5 viene tenuto frenato mediante una seconda frizione (6). Questa costruzione viene seguita in linea di massima in tutti i moderni registratori a nastro.

Benchè sotto molti punti di vista migliore del filo di acciaio, il nastro di acciaio presenta due inconvenienti gravi: il prezzo troppo elevato e la riproduzione degli alti non buona. Non è però solo al nastro che è imputabile la cattiva riproduzione degli alti, ma anche alle testine di re-

Fig. 105. Schema del movimento di un registratore a nastro.

gistrazione e di riproduzione; infatti quando in una bobina di registrazione circola una corrente alternata, questa genera nel nucleo di ferro dolce un campo magnetico alternato e poichè il nucleo è conduttore vi circolano delle correnti; a causa della resistenza elettrica del nucleo, si producono delle perdite e il campo magnetico nel traferro diviene per conseguenza meno intenso. Questo fenomeno è più marcato alle frequenze elevate e per contrastarlo il nucleo e le estremità polari non vengono fatte di un sol pezzo di ferro dolce, ma di sottili fogli riuniti a pacco, isolati fra loro, in modo che le correnti, dette di Foucault o parassite, risultano ostacolate.

Anche la qualità del ferro impiegato ha la sua importanza; nel ferro ordinario le perdite magnetiche sono troppo forti e per tale motivo occorre impiegare allo scopo di ottenere una buona riproduzione delle frequenze elevate, delle leghe speciali di ferro-nichel. Naturalmente le correnti di Foucault possono circolare non solo nel nucleo ma anche nel nastro di acciaio.

Un altro fenomeno ha però un'influenza ancora maggiore sull'intensità con la quale le frequenze elevate possono essere registrate. Infatti quando si introduce un grosso pezzo di acciaio in una bobina percorsa da una corrente continua, si constata che possono passare diversi secondi prima che il pezzo di acciaio sia magnetizzato completamente; questo è dovuto al fatto che l'acciaio tende a opporsi alla magnetizzazione. Per pezzi di acciaio molto piccoli il ritardo è anch'esso molto piccolo e può occorrere ad esempio solo un duemillesimo di secondo per raggiungere lo stato finale di magnetizzazione; però questo tempo è ancora troppo lungo se l'acciaio è usato per la registrazione sonora. Infatti per un suono avente una frequenza di 5000 c/s, un semiperiodo dura 0,1 millisecondi e pertanto in un semiperiodo un trattino di nastro può essere magnetizzato solo incompletamente; i suoni di frequenze ancora più elevate poi non vengono registrati affatto.

L'ideale sarebbe un supporto magnetico dei suoni poco costoso, non soggetto a correnti di Foucault nè ad altre perdite, nel quale gli effetti di ritardo fossero trascurabili; inoltre tale nastro dovrebbe essere flessibile e sottile, ma anche solido, non soggetto ad allungarsi e, una volta magnetizzato, dovrebbe conservare bene la magnetizzazione.

Alcune materie plastiche soddisfano le condizioni meccaniche; alcuni composti di ferro, fra cui l'Fe_2O_3 (ferri-ferrite) e l'Fe_3O_4 (ferro-ferrite) soddisfano le condizioni magnetiche ed elettriche e possono essere citati come i più adatti allo scopo. Queste ferriti assomigliano molto alla ruggine e come questa hanno un aspetto di polvere bruno rossastra, ma contrariamente alla ruggine ordinaria possono essere magnetizzate.

Così i nastri per registrazione magnetica del suono sono costituiti da un nastro di materiale plastico su una faccia del quale è applicato con un collante, uno strato di ferro-ferrite molto finemente polverizzata. Questo strato non ha che 15 micron (mm 0,015) di spessore ed è lisciato in modo che il nastro possa scorrere facilmente sulle testine di registrazione e di riproduzione senza consumarle eccessivamente e senza per altro che lo spazio fra il traferro e la superficie del nastro stesso risulti

troppo grande. Per mostrare quanto deve essere intimo il contatto fra il nastro e la testina di riproduzione, possiamo dire che con una testina di lettura avente un traferro di 7 micron, una distanza di 12 micron fra la testina e il nastro determina già un'attenuazione di più di 30 dB nella tensione che si genera nella testina stessa.

I grani di ferrite debbono essere estremamente piccoli, altrimenti nella riproduzione si manifesta un rumore di fondo fastidioso (esattamente come per i dischi); sui buoni nastri il diametro dei grani è inferiore a 1 micron. Il nastro ha in generale uno spessore totale di 55 micron, ma attualmente ne esistono in commercio anche di più sottili. La larghezza è di mm 6,35 (¼ di pollice). Si usano anche nastri nei quali la polvere di ferrite non è depositata in uno straterello superficiale ma incorporata in maniera più omogenea possibile nel materiale plastico costituente il nastro.

Benchè i nastri sopra descritti siano molto migliori di quelli di acciaio, non eliminano completamente una perdita d'intensità nella riproduzione delle frequenze più elevate. I trattini magnetizzati sono assai corti, solamente 10 micron nell'esempio del paragrafo 1, e i magneti corti hanno tendenza a smagnetizzarsi da soli; per tale motivo, anche dopo la registrazione si verifica per i suoni più alti un'attenuazione del segnale registrato.

§ 3. Distorsione e premagnetizzazione ad alta frequenza

L'attenuazione degli alti, di cui abbiamo parlato sopra, costituisce la distorsione lineare di cui è affetta la registrazione magnetica; tale distorsione è paragonabile in un certo qual modo alla perdita di alti conseguente alla deformazione elastica che subisce il disco all'atto della riproduzione. Nella registrazione, magnetica si verifica anche una distorsione non lineare all'atto della registrazione, contrariamente alla distorsione di traccia che si verifica nei dischi all'atto della riproduzione. Naturalmente non parliamo qui che delle cause di distorsione all'origine e non delle distorsioni che si verificano nell'amplificatore o che risultano dall'impiego

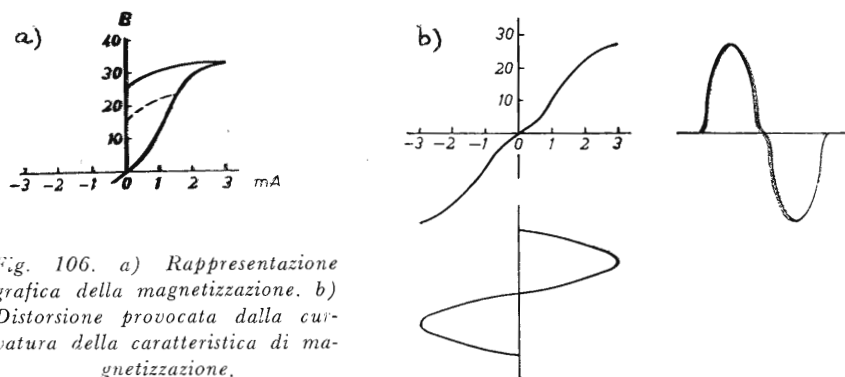



Fig. 106. a) Rappresentazione grafica della magnetizzazione. b) Distorsione provocata dalla curvatura della caratteristica di magnetizzazione.

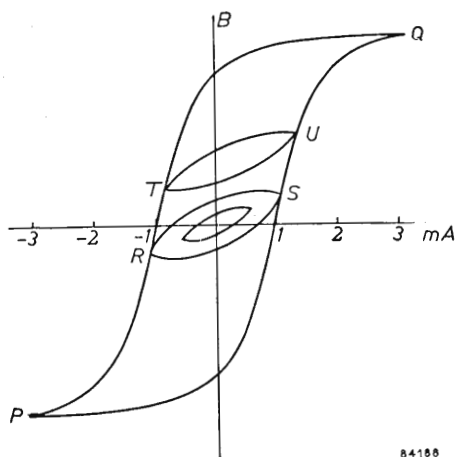



Fig. 107. Premagnetizzazione ad alta frequenza.

di nastri o di testine di registrazione e di riproduzione qualitativamente meno buoni.

Per comprendere la causa della distorsione non lineare che si verifica nella registrazione magnetica, esaminiamo anzitutto come si magnetizzano i materiali magnetici. La fig. 106a rappresenta la variazione della magnetizzazione in un tratto di nastro in funzione della corrente che passa nella bobina della testina di registrazione. Per correnti di intensità fino a 0,5 mA circa, la magnetizzazione cresce piuttosto lentamente; da 0,5 mA a 2 mA circa, la magnetizzazione cresce più rapidamente al crescere della corrente e quando la corrente aumenta oltre i 2 mA, la magnetizzazione torna di nuovo a registrare aumenti piccoli.

Se a 3 mA s'interrompe la corrente, la magnetizzazione non scende a zero ma si ferma a 26 gauss, dato che il materiale di cui ci stiamo occupando è un materiale a magnetizzazione permanente; se la corrente viene interrotta a 1,5 mA, la magnetizzazione permanente che resta sarà di 16 gauss. La fig. 106b mostra qual'è la magnetizzazione permanente per i diversi valori d'intensità di corrente; poichè questa linea non è retta ne deriva immediatamente che la registrazione di una vibrazione su nastro magnetico non avviene senza distorsione.

Nella fig. 106b è rappresentato, a destra, come varia la magnetizzazione del nastro quando la bobina della testina di registrazione è percorsa dalla corrente sinusoidale rappresentata nella parte inferiore della figura. La distorsione è composta di armoniche dispari, fra le quali la terza armonica è di gran lunga la più intensa. Se la magnetizzazione del nastro è una registrazione distorta dal segnale originale, la tensione che ne risulta nella testina di riproduzione sarà per conseguenza distorta anch'essa in maniera simile.

Questo fenomeno si verifica in tutti i materiali magnetici, in alcuni in misura minore che in altri, ma la distorsione risulta sempre troppo forte per essere compatibile con una riproduzione di qualità. E' solo per le magnetizzazioni più deboli che la distorsione potrebbe essere trascurata, ma questo riveste un interesse relativo perchè la tensione prodotta nella testina di riproduzione sarebbe in tal caso così piccola che il rumore di fondo, sempre presente, coprirebbe praticamente il segnale utile.

Già nel 1922 si era trovato in America un metodo per ridurre la distorsione, il quale cadde più o meno nell'oblio e fu riscoperto nel 1938 in

Giappone. Fu però necessario attendere il 1941 per veder consacrare definitivamente, questa volta in Germania, il metodo di riduzione della distorsione mediante premagnetizzazione ad alta frequenza.

— Spiegheremo per sommi capi, con l'ausilio della fig. 107, come viene ridotta la distorsione mediante premagnetizzazione ad alta frequenza. In questa figura è riportata la curva di magnetizzazione come si presenta quando la corrente che percorre la bobina, dopo aver raggiunto il valore di 3 mA, scende fino a zero, si inverte di segno, cresce di nuovo fino a 3 mA negativi, torna di nuovo a zero, cambia di nuovo senso, ecc. (ciclo PQ). Il ciclo RS rappresenta il caso in cui la corrente non varia fra + 3 mA e — 3 mA, ma solo fra + 1 mA e — 1 mA; il ciclo più piccolo disegnato all'interno rappresenta la magnetizzazione in funzione di una variazione di corrente compresa fra + 0,6 mA e — 0,6 mA. Supponendo cioè che la bobina sia percorsa da corrente alternata, il ciclo grande PQ rappresenta la variazione della magnetizzazione quando la corrente alternata ha un'ampiezza di 3 mA, il ciclo RS la variazione di magnetizzazione quando l'ampiezza è ridotta ad 1 mA e il ciclo più piccolo mostra ciò che accade per 0,6 mA. Quando l'ampiezza della corrente alternata viene ridotta progressivamente da 3 mA a 0 mA, il ciclo di magnetizzazione si riduce progressivamente fino a un punto sull'asse verticale e il nastro torna ad essere smagnetizzato.

Se oltre a una corrente alternata di 1 mA si manda nella bobina anche una corrente continua di 0,4 mA, il ciclo di magnetizzazione si sposta in TU (fig. 107); per il fatto che i fianchi del ciclo grande PQ sono praticamente rettilinei, lo spostamento del ciclo piccolo risulta praticamente proporzionale al valore della corrente continua. Se si fanno diminuire uniformemente la corrente alternata e la corrente continua, il ciclo TU rimpicciolisce e quando la corrente totale è divenuta nulla, del ciclo non resta che un punto il quale, per il fatto che non circola più corrente, deve trovarsi sull'asse verticale e precisamente nell'intersezione di quest'ultimo con la retta passante per T ed U. Poichè lo spostamento del ciclo di magnetizzazione è proporzionale alla corrente continua, la magnetizzazione che resta, detta magnetismo residuo, sarà anch'essa proporzionale alla corrente continua che è passata.

Come abbiamo già visto, nel registratore magnetico il nastro scorre sulla testina di registrazione; se in questa testina in un certo istante passano simultaneamente una corrente alternata di 1 mA e una corrente continua di 0,4 mA, il trattino di nastro che si trova in quell'istante esattamente in corrispondenza del traferro viene magnetizzato secondo il ciclo TU (fig. 107); un istante dopo il trattino di nastro in questione si è spostato alquanto rispetto al traferro ed è arrivato in una zona dove il campo è più debole. Qualche istante dopo, il trattino di nastro in considerazione si è allontanato dal traferro di una distanza tale che il ciclo di magnetizzazione è divenuto un punto e sul nastro rimane solo il magnetismo residuo, la cui intensità, come abbiamo già visto, è direttamente proporzionale alla corrente continua che passa nella bobina.

Ora, se la corrente alternata di premagnetizzazione ha una frequenza

sufficientemente elevata, ad esempio 100000 c/s, la corrente continua può anche essere sostituita da una corrente alternata a bassa frequenza.

Abbiamo visto che per una buona riproduzione degli alti occorre che il traferro della testina di registrazione sia talmente stretto che durante il tempo in cui un trattino elementare di nastro ci si trova davanti, la corrente di segnale che percorre la bobina resti praticamente invariata.

Possiamo quindi ricapitolare dicendo che il magnetismo residuo di un trattino elementare di nastro è determinato dal valore istantaneo della corrente alternata a bassa frequenza nell'istante in cui il trattino di nastro in questione si trova davanti al traferro e che la proporzionalità fra il valore istantaneo della corrente alternata a bassa frequenza e il magnetismo residuo è assicurata dalla corrente di premagnetizzazione ad alta frequenza.

Quanto abbiamo detto sopra può non sembrare molto semplice, ma una spiegazione completa dei fenomeni in giuoco è ancora più complessa. Senza approfondire maggiormente, si comprenderà facilmente che la frequenza della corrente di premagnetizzazione non è critica, purchè risulti molto più elevata della più alta frequenza da registrare; d'altra parte non deve però nemmeno essere troppo elevata, perchè in tal caso sarebbe difficile farla passare con intensità sufficiente nella bobina della testina di registrazione e inoltre perchè potrebbe disturbare le radioricezioni.

Per quanto riguarda l'intensità della corrente di premagnetizzazione dobbiamo osservare che per stabilirne il valore più opportuno non si può ricorrere alla fig. 107; poichè la magnetizzazione non è uniforme nello spessore del nastro magnetico, i calcoli danno solo risultati molto approssimati. Tutto quello che si può affermare al riguardo è che la corrente di premagnetizzazione deve essere dello stesso ordine di grandezza della massima corrente ammissibile di segnale, perchè la distorsione resti al disotto del minimo percettibile.

Spesso una registrazione deve restare disponibile solo per un tempo limitato ed è quindi necessario un sistema per cancellarla dal nastro in modo che questo possa essere utilizzato di nuovo. Spiegando la premagnetizzazione ad alta frequenza, abbiamo già detto che se un pezzo di materiale magnetico viene posto in un campo magnetico alternato la cui intensità decresce gradualmente, il pezzo di materiale risulta smagnetizzato nel momento in cui l'intensità del campo alternato raggiunge lo zero; lo stesso avviene se il pezzo di materiale era già magnetizzato precedentemente, a condizione però che il campo alternato sia inizialmente più intenso del magnetismo residuo già presente e che nessun'altra corrente circoli nella bobina durante la smagnetizzazione.

Si può quindi smagnetizzare un nastro sonoro facendolo scorrere su una testina, detta di cancellazione, nella quale si fa passare una corrente di frequenza elevata e di intensità sufficiente; tale testina di cancellazione precede generalmente la testina di registrazione. Viene così cancellata ogni traccia di eventuali registrazioni precedenti, in modo che la nuova registrazione non risulta alterata da perturbazioni preesistenti. La frequenza della corrente nella testina di cancellazione non ha alcuna importanza, a con-

Fig. 108a. Registratore magnetico professionale; da sinistra a destra: testina di cancellazione, testina di registrazione, testina di riproduzione.

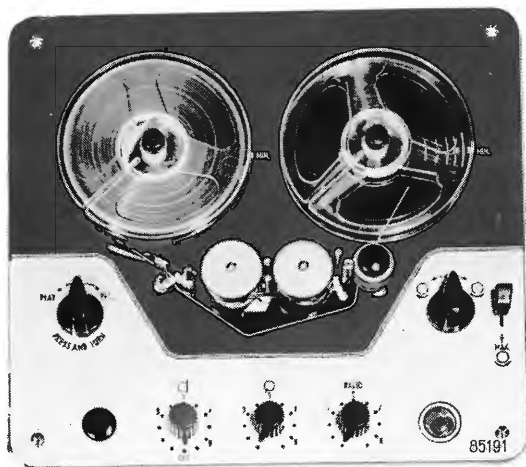
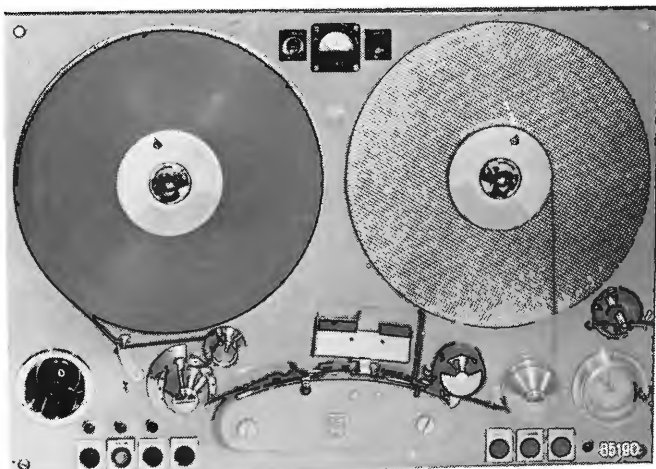



Fig. 108b. Registratore magnetico non professionale; da sinistra a destra: testina di cancellazione, testina di registrazione e di riproduzione.

dizione che sia sufficientemente elevata. La corrente viene in generale fornita dallo stesso oscillatore che fornisce la corrente ad alta frequenza alla testina di registrazione e la sua intensità non è critica; il numero di amperspire è in generale maggiore di quello della testina di registrazione.

Si può anche procedere alla cancellazione di una registrazione facendo passare il nastro su un magnete permanente. Benchè questo metodo sia meno costoso della cancellazione mediante corrente ad alta frequenza, viene applicato relativamente poco, perchè la registrazione il più delle volte non scompare completamente e resta un certo rumore di fondo.

§ 4. Registratori magnetici: tipi e caratteristiche

I registratori magnetici, la maggior parte dei quali è prevista tanto per la registrazione che per la riproduzione, si dividono in tre classi:

1. Professionali: di caratteristiche assai elevate, per l'impiego in studi.
2. Semiprofessionali: di caratteristiche meno severe dei precedenti, però ancora di alta qualità.
3. Non professionali: rispondenti ad esigenze più correnti, ad esempio per impiego da parte di privati.

I limiti fra le tre classi non sono netti e lo scarto fra le categorie 1 e 3 va riducendosi sempre più; il che è assai logico perchè gli apparecchi migliori hanno oggi raggiunto un tale grado di perfezione che è difficile ormai perfezionarli ulteriormente, mentre gli apparecchi più economici hanno più possibilità di essere migliorati. Per conseguenza anche i limiti fra le classi 1 e 2 da una parte e 2 e 3 dall'altra sono difficili da definire.

Gli apparecchi professionali sono muniti di testine di cancellazione, di registrazione e di riproduzione separate (vedi fig. 108a); sui non professionali le testine di registrazione e di riproduzione sono sostituite da una testina unica a duplice funzione (fig. 108b). Il vantaggio della disposizione della fig. 108a è che in registrazione si può controllare in modo immediato e continuo come viene registrato il suono. Con gli apparecchi comprendenti un'unica testina a duplice funzione questa possibilità di controllo non c'è; c'è però il vantaggio del prezzo più basso; d'altra parte l'ascolto simultaneo di controllo in una registrazione effettuata mediante microfono può spesso essere più dannoso che utile, per gli usi che può farne il dilettante, a causa del pericolo di microfonicità.

La differenza principale fra le tre classi di magnetofoni è costituita dalla velocità alla quale il nastro scorre sulle testine. Dall'esempio dato al paragrafo 1 di questo capitolo si ricava la relazione seguente fra la larghezza del traferro, la velocità del nastro e la frequenza alla quale si verifica un'attenuazione di 6 dB.

$$\text{Frequenza} = \frac{\text{velocità del nastro}}{2 \times \text{larghezza del traferro}}$$

(Velocità del nastro in cm/sec oppure in pollici/sec; larghezza del traferro in cm oppure in pollici).

Mediante questa formula sono stati ricavati i valori riportati nella seguente tabella, dalla quale si può leggere a quale frequenza corrisponde l'attenuazione di 6 dB nella curva di risposta.

Larghezza del traferro μ	Velocità del nastro			
	9,5 3¾	19 7½	38 15	76 cm/sec 30 pollici/sec
7,5	6300 Hz	12600 Hz	25200 Hz	> 30000 Hz
15	3200 Hz	6300 Hz	12600 Hz	25200 Hz
30	1600 Hz	3200 Hz	6400 Hz	12600 Hz

Per ottenere una buona riproduzione degli alti è dunque necessario che il traferro delle testine di registrazione e di riproduzione sià più stretto possibile e che la velocità del nastro sia la maggiore possibile. Rinforzando le frequenze elevate nell'amplificatore di registrazione e di riproduzione, si può rendere la caratteristica totale praticamente rettilinea fino a frequenze superiori a quelle indicate in tabella, che in ogni caso però non possono essere superate di più di mezza ottava. Infatti, tornando un istante all'esempio dato al paragrafo 1, se la frequenza è doppia di quella presa nell'esempio, il trattino di nastro che è stato magnetizzato durante il primo semiperiodo si trova davanti al traferro anche durante il secondo semiperiodo e viene così smagnetizzato; ne consegue che per frequenze doppie di quelle per le quali l'attenuazione è di 6 dB, il nastro non viene più magnetizzato.

Anche facendo astrazione dalle difficoltà di costruzione che ne deriverebbero, non c'è alcuna utilità a rendere il traferro troppo stretto, perchè a causa dell'autosmagnetizzazione del nastro si determinerebbe ugualmente un'attenuazione delle frequenze elevate; per tale motivo negli apparecchi professionali si adottano velocità di scorrimento del nastro elevate e traferri relativamente larghi e negli apparecchi non professionali, per considerazioni di carattere economico, velocità inferiori (19 cm/sec oppure 9,5 cm/sec e se si tratta di registrare solo la parola anche 4,75 cm/sec) e traferro più piccolo possibile.

La scelta della velocità del nastro ha influenza sul prezzo sotto due aspetti. Volendo una durata ininterrotta di riproduzione di 32 minuti, occorrono 180 metri di nastro per una velocità di scorrimento di 9,5 cm/sec, 360 metri per una velocità di 19 cm/sec e così via; il prezzo del nastro è tale da incoraggiare un po' di economia. Un altro punto che influisce sul prezzo del registratore è il trascinamento del nastro. Un nastro da 180 metri viene consegnato avvolto su bobine, o rocchetti, da 13 cm di diametro; un nastro di lunghezza doppia su bobine da 18 cm e per velocità maggiori si usano bobine da 21 cm o ancora maggiori. E' evidente che più grandi e quindi più pesanti sono le bobine e più elevata è la velocità del nastro e più difficile è il trascinamento delle bobine e del nastro. Per una velocità di 9,5 cm/sec o di 19 cm/sec il sistema di trascinamento illustrato nella fig. 105 può essere sufficiente. Per velocità più elevate e per bobine di diametro maggiore non è più possibile che il motore che trascina il nastro muova anche la bobina di ricezione e pertanto si rende necessaria l'adozione di un secondo motore.

C'è poi un'altra difficoltà che non esiste per i dischi. Quando un nastro è stato ascoltato, risulta avvolto sulla bobina ricevente e per poterlo ascoltare di nuovo occorre riportarlo sulla bobina debitrice. E' assai poco piacevole effettuare questo riavvolgimento alla stessa velocità d'avanzamento normale e dovere quindi attendere 32 minuti, ad esempio, prima che il nastro sia pronto per una nuova audizione. Per tale motivo occorre non solo che il senso di rotazione delle bobine possa essere invertito per il riavvolgimento, ma che il riavvolgimento stesso possa essere

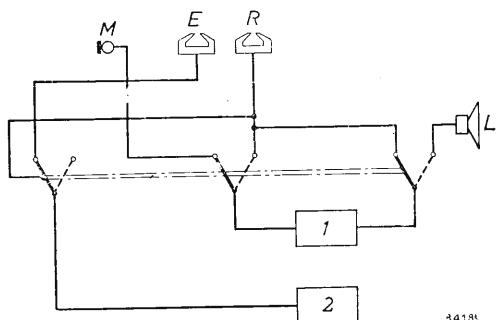



Fig. 109. Schema di principio di un registratore a nastro: M = microfono. L = altoparlante. E = testina di cancellazione. R = testina di registrazione e di riproduzione. 1 = amplificatore. 2 = oscillatore ad alta frequenza.

effettuato a velocità maggiore, il che evidentemente impone al motore condizioni più severe da soddisfare; aumentano cioè le difficoltà di eseguire tutti i movimenti con un solo motore e pertanto nei casi in cui un solo motore fosse già insufficiente, il riavvolgimento a velocità più elevata renderà necessaria la adozione di un terzo motore.

Questo richiede dei circuiti e dei montaggi piuttosto complessi, in modo che i registratori equipaggiati con tre motori sono sensibilmente più costosi degli apparecchi a motore unico. Grazie però ai perfezionamenti tecnici introdotti in questi apparecchi e all'esperienza fatta negli ultimi anni, è ora possibile fabbricare dei registratori a nastro di buona qualità provvisti di un solo motore per i quali, fino a qualche tempo fa, ne sarebbero occorsi tre.

E' necessario inoltre che il nastro possa muoversi a velocità più elevata non solo nel senso del riavvolgimento, ma anche in quello normale di avanzamento. La testina del pick-up può essere spostata a mano su un punto qualunque del disco; se una registrazione su nastro deve essere ascoltata solo in parte, non si può arrivare al passaggio desiderato lasciando scorrere il nastro alla velocità normale finchè la parte che interessa arriva alla testina di riproduzione; per evitare lunghe attese, lo avanzamento deve quindi poter essere accelerato. In generale il riavvolgimento e l'avanzamento rapido vengono effettuati a velocità circa 10 volte maggiore della velocità di avanzamento normale. Per evitare un aumento di usura del nastro e delle testine e in pari tempo per scaricare alquanto il motore durante i movimenti a velocità più elevata, la puleggia di trascinamento e le testine vengono tenute sollevate dal nastro.

Poichè quando si effettua una registrazione, la registrazione precedente che si trova eventualmente sul nastro viene automaticamente cancellata, è necessario evitare che a causa di una manovra errata si commuti per errore su **registrazione** invece che su **riproduzione** e che si perda così una registrazione che forse si desiderava conservare. Per evitare simili errori, alcuni apparecchi sono costruiti in modo che per effettuare una registrazione occorre manovrare due pulsanti invece di uno solo; gli apparecchi comandati con manopole (fig. 108) invece che con pulsanti, hanno la manopola per la registrazione che per essere messa in funzione deve essere abbassata.

Se in una registrazione la corrente che passa nella testina è troppo debole, il suono riprodotto risulterà accompagnato da un fastidioso rumore di fondo; se la corrente è troppo forte, si avrà distorsione. Ne consegue la necessità di controllare con un sistema qualunque l'intensità del segnale durante la registrazione. Sugli apparecchi professionali questo controllo viene effettuato mediante strumenti di misura appositamente costruiti, che sono però troppo costosi per gli apparecchi per dilettanti. Sugli apparecchi non professionali, nella maggior parte dei casi s'impiega un piccolo tubo catodico del tipo che serve come occhio magico negli apparecchi radio, oppure una lampadina al neon; l'amplificazione deve essere regolata in modo che la zona luminosa del tubo catodico, o della lampadina al neon, risulti massima solo nei passaggi musicali più forti. L'esperienza ha mostrato che questa soluzione soddisfa in modo completo.

La tensione indotta nella testina di riproduzione è dello stesso ordine di grandezza della tensione fornita da un pick-up magnetico e per conseguenza troppo debole per poter essere applicata direttamente alla presa pick-up di un apparecchio radio. La stessa cosa si può dire per un microfono che, anche se si tratta di un microfono a cristallo, fornisce una tensione troppo bassa la quale richiede una preamplificazione supplementare. In un registratore magnetico c'è dunque un amplificatore usato tanto in registrazione che in riproduzione, oltre all'oscillatore che fornisce la corrente alternata ad alta frequenza.

Lo schema d'insieme della fig. 109 dà un'idea del montaggio normale; quando il commutatore è a sinistra, il microfono M è inserito sull'ingresso dell'amplificatore 1 e la testina R di registrazione-riproduzione sull'uscita dell'amplificatore; l'oscillatore 2 è allora collegato tanto alla testina di registrazione R che alla testina di cancellazione E. Portando a destra il commutatore, il microfono e l'oscillatore vengono disinseriti, la testina R viene collegata all'ingresso dell'amplificatore e l'altoparlante all'uscita.

Come abbiamo già detto, la registrazione dei segnali di frequenze elevate è soggetta ad attenuazione. Ponendo che questa sia di 6 dB ad 8000 c/s, per compensare tale perdita è previsto un filtro che fa in modo che ad 8000 c/s l'amplificazione è maggiore di 3 dB che alle frequenze più basse; poichè questo filtro è impiegato tanto in registrazione che in riproduzione, la perdita viene in tale modo compensata totalmente. E' così possibile rendere la caratteristica di riproduzione rettilinea fino ad 8000 c/s con una velocità di scorrimento del nastro di 9,5 cm/sec, ad esempio, e una larghezza di traferro di 7,5 micron.

Come per i dischi, anche nella registrazione su nastro i suoni più bassi debbono essere attenuati per evitare distorsione.

§ 5. Maggior durata di riproduzione

Con bobine di 13 cm di diametro e velocità di scorrimento di 19 cm/sec, la riproduzione di un nastro dello spessore di 55 micron dura 16 minuti; la durata sale a 32 minuti se la velocità del nastro è di 9,5 cm/sec.

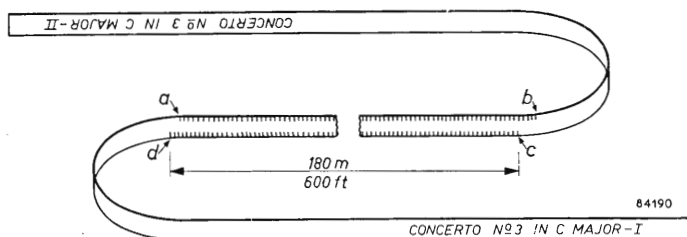



Fig. 110. Registrazione su doppia pista: a = inizio prima pista; b = fine prima pista; c = inizio seconda pista; d = fine seconda pista; le due piste sono indicate mediante tratteggio.

In certe circostanze una durata del genere può essere ancora insufficiente e si sono cercati dei metodi per prolungarla senza ricorrere a bobine più grandi.

Questo risultato può essere raggiunto anzitutto impiegando nastro più sottile. Una bobina da 13 cm può contenere 180 metri di nastro di spessore normale; usando un nastro dello spessore di circa 37 micron, se ne può avvolgere sulla stessa bobina da 13 cm una lunghezza totale di 270 metri e prolungare in tale modo del 50% la durata della riproduzione. Però, come sempre avviene nel campo della tecnica, questo guadagno solleva alcuni problemi. Poichè lo spessore dello strato di materiale magnetico non può essere ridotto ma deve restare di 15 micron come per il nastro normale, restano solo 22 micron per il supporto; un nastro così sottile deve però avere le stesse caratteristiche meccaniche del nastro normale, per evitare allungamenti e rotture inammissibili. Queste condizioni possono essere soddisfatte mediante l'impiego di un poliestere invece dell'acetato di cellulosa e resta da risolvere solo un problema elettrico.

E' noto che se un pezzo d'acciaio viene posto vicino a un magnete, assume anch'esso una magnetizzazione permanente. La stessa cosa avviene quando un pezzo di nastro da registrazione non magnetizzato viene posto a contatto del nastro magnetizzato; il pezzo di nastro vergine risulta leggermente magnetizzato da questo contatto. L'intensità della magnetizzazione copiata dipende dalla distanza fra i due strati di materiale magnetico, tale distanza essendo praticamente uguale allo spessore totale del nastro; anche il tempo in cui i due pezzi restano vicini influenza l'intensità della magnetizzazione copiata che è, fondamentalmente, proporzionale all'intensità del segnale esistente sul nastro magnetizzato. Infine, questo effetto d'impregnazione o d'eco è anche funzione della frequenza del suono registrato; su nastri dello spessore di 55 micron e con velocità di scorrimento di 76 cm/sec, l'effetto d'eco è più forte a 2000 c/s; a velocità di scorrimento più basse questa frequenza critica si abbassa proporzionalmente cosicchè per una velocità di 9,5 cm/sec essa è all'incirca di 250 c/s.

L'eco magnetica alla frequenza critica ha un livello di 50 dB cir-

ca inferiore alla magnetizzazione che l'ha prodotta; per frequenze più alte e più basse la differenza di livello è di circa 55 dB. I pre-echi e i post-echi che talvolta si sentono sui dischi sono in generale causati da questo effetto. Essendo di 50 dB inferiori ai segnali che li hanno provocati, gli echi disturbano poco; la loro intensità non arriva di solito al livello al quale sono registrati i **pianissimo** sul disco. Il fatto che questi echi non abbiano la stessa intensità per tutte le frequenze spiega perchè per certe registrazioni risultino più forti che per altre. Se la frequenza critica è per esempio 2000 c/s e tale frequenza e quelle vicine non figurano in un certo **fortissimo,** l'eco magnetica risulterà quasi impercettibile.

Col nastro sottile la distanza fra gli strati di materiale magnetico è minore e l'effetto d'eco per conseguenza più pronunciato. L'aumento di questo effetto è di circa 5 dB e il livello del segnale d'eco è dunque solo a 45 dB dal livello dei **fortissimo;** in altri termini questa eco ha un'intensità all'incirca uguale a quella di un **pianissimo** e pertanto può risultare fastidiosa. Per tale motivo il nastro sottile non viene usato per le registrazioni negli studi delle società editrici di dischi.

Nei nastri sottili la frequenza critica alla quale l'effetto d'eco è più forte si trova all'incirca una semiottava più in alto che nei nastri di spessore normale; negli apparecchi di registrazione non professionali, che funzionano con velocità di scorrimento di 9,5 oppure 19 cm/sec, le frequenze sfavorevoli corrispondono dunque rispettivamente a 400 c/s e a 800 c/s. Poichè a queste frequenze l'orecchio non è molto sensibile ai suoni deboli, in generale coi magnetofoni non professionali l'effetto d'eco sarà nullo o quasi, anche usando nastro sottile.

Un altro sistema per prolungare la durata di riproduzione, applicabile tanto ai nastri normali che a quelli sottili, consiste nel registrare due piste sonore sullo stesso nastro; viene prima registrata la metà superiore del nastro e poi la metà inferiore, come mostrato in fig. 110.

Finora abbiamo supposto che la lunghezza del traferro fosse uguale alla larghezza del nastro; in realtà per la registrazione su doppia traccia la lunghezza del traferro deve essere leggermente inferiore alla metà della larghezza del nastro. Anche questo metodo presenta, diremo naturalmente, un inconveniente; usando solo metà della larghezza del nastro per una registrazione sonora, il campo magnetico che in riproduzione induce delle tensioni elettriche nella testina di lettura è minore di quando la magnetizzazione è estesa a tutta la larghezza del nastro; le tensioni indotte risultano per conseguenza anch'esse minori, in modo che il rapporto fra queste tensioni e l'inevitabile rumore di fondo diviene meno favorevole. Benchè per questo motivo gli studi delle società editrici di dischi non usino la registrazione su doppia traccia, il rumore di fondo dei registratori a doppia pista è talmente basso che il dilettante non ne risulta disturbato.

Con la registrazione su doppia traccia, l'iscrizione e la lettura cominciano sulla metà superiore del nastro e quando il nastro è passato tutto da una bobina all'altra, le due bobine vengono invertite in modo che la parte del nastro che prima si trovava sotto passa sopra e viene quindi a trovarsi davanti alle testine di registrazione e di riproduzione.

E' possibile anche munire l'apparecchio di due serie di testine, una disposta in modo che in corrispondenza dei suoi traferri passi la parte superiore del nastro, l'altra in modo che ci passi la parte inferiore; in tale caso non è necessario invertire le bobine dopo la prima metà della registrazione, ma solo cambiare il senso di scorrimento del nastro, il che può essere fatto all'occorrenza anche automaticamente; è però evidente che l'impiego di una doppia serie di testine e i commutatori supplementari che ciò richiede influiscono sul prezzo piuttosto sensibilmente.

Una proprietà particolarmente interessante delle registrazioni su nastro è che si possono eventualmente togliere delle parti ed incollare le rimanenti, oppure anche inserirvi altre parti. Con le registrazioni a doppia pista la cosa è impossibile ed è questa un'altra ragione per cui tali registrazioni non vengono effettuate negli studi di registrazione dei dischi. I tecnici del suono dilettanti che vogliono effettuare montaggi sonori debbono tenerne conto se dispongono di un apparecchio a doppia pista e all'occorrenza usarne solo una.

§ 6. Nastro o disco

Il registratore a nastro viene talvolta considerato come un concorrente del grammofono e di quando in quando si predice che in un avvenire più o meno prossimo soppianterà quest'ultimo. Fare previsioni è sempre un azzardo, soprattutto se poi si stampano; pertanto ci limiteremo qui a un esame comparativo obiettivo, accennando unicamente ai rapporti fra i dischi e i nastri messi in vendita già registrati, senza prendere in considerazione le registrazioni fatte dai privati attraverso la radio o altro. I tre fattori da considerare sono la qualità, la facilità di manovra e il prezzo. Poichè è impossibile, a meno di essere un Giulio Verne, il che però l'autore non ha la pretesa di essere, scrivere su cose che non sono ancora state inventate (e che forse non lo saranno mai), ci atterremo alla situazione come si presentava all'epoca della pubblicazione di questo libro. Consideriamo dunque solo le velocità del nastro di 9,5 cm/sec e 19 cm/sec perchè altrimenti la qualità delle registrazioni sarebbe troppo mediocre o il prezzo troppo alto. Dalla tabella e da quello che la segue al paragrafo 4 di questo capitolo, risulta che con una velocità di scorrimento di 19 cm/sec e un traferro largo 7,5 micron, la frequenza più elevata che può essere riprodotta è di circa 18000 c/s. Anche coi dischi microsolco si può raggiungere tale frequenza; non diciamo che su tutti i dischi microsolco sono incise le frequenze fino a 18000 c/s, ma solo che questo limite può essere raggiunto su disco come su nastro. Il livello del rumore di fondo del magnetofono può essere assai basso, ma quello dei buoni dischi microsolco è dello stesso ordine di grandezza. Sui nastri si può avere una dinamica un po' maggiore, dunque un migliore contrasto fra i **pianissimo** e i **fortissimo** che su disco, ma questo contrasto sui dischi è talvolta già maggiore del necessario o del desiderabile per un locale di abitazione. Per le registrazioni tanto su nastro che su disco esistono cause specifiche di distorsione non lineare; in entrambi i casi si può però prevedere che le conseguenze saranno ridotte al minimo e che la differenza finale per quanto riguarda la distorsione non lineare sarà minima fra disco e nastro.

Il fatto che la tiratura di copie di registrazioni su nastro magnetico sia un procedimento meno complicato che per i dischi giuoca indubbiamente a favore del nastro, nel senso che nella fabbricazione dei dischi fattori fortuiti e piccoli incidenti avranno una ripercussione maggiore sulla qualità finale della riproduzione rispetto alla tiratura di copie di registrazioni su nastro. Dato però il punto cui si è giunti per evitare gli incidenti fortuiti nella fabbricazione dei dischi, questo fattore non va sopravvalutato in modo che, secondo noi, si può dire in generale che le differenze qualitative fra le registrazioni su nastro e quelle su disco resteranno piccole.

L'usura dei nastri magnetici è senza dubbio minore di quella dei dischi, ma tenuti con cura questi ultimi si consumano così poco che il privato non ne risente grande molestia; la cosa è ben diversa per i dischi usati nei caffè, scuole da ballo, ecc. Il rischio di danni o rotture, che è ben lungi dall'essere immaginario per i dischi, è nullo per le registrazioni su nastro. Da questo punto di vista il nastro è nettamente superiore, se si fa astrazione dal rischio di cancellature accidentali possibili sul nastro registrato.

Mentre su un disco un passaggio determinato di una registrazione si ritrova assai agevolmente, non è la stessa cosa con un nastro, dove sono spesso necessari diversi tentativi. La messa a posto delle bobine, il collocamento del nastro e l'eventuale riavvolgimento fanno sì che il magnetofono sia meno facile da usare; questo inconveniente è particolarmente sentito quando si tratta di raccolte tipo album di un gran numero di registrazioni brevi, ma esiste anche per composizioni lunghe.

Con i nastri musicali a doppia pista si presenta una difficoltà nuova. I quattro tempi di una sinfonia non sono di solito tutti della stessa durata. Su un disco in generale i primi due sono incisi su una faccia e gli altri due sulla seconda; se certi tempi sono piuttosto brevi (per esempio della Sinfonia n. 5 di Beethoven il terzo e il quarto tempo durano complessivamente 14 minuti contro i 18 minuti dei primi due) non ne deriva alcun inconveniente perchè in ogni caso la puntina entra nel solco terminale del disco non appena è stata suonata l'ultima nota. Per le registrazioni su nastro se le due parti non sono di lunghezza uguale occorrerà scegliere fra due possibilità.

Si può, per risparmiare nastro, fissare il passaggio dalla prima alla seconda pista proprio a metà dell'opera musicale. La Sinfonia n. 5 di Beethoven ha una durata complessiva di 32 minuti e dopo 16 minuti l'orchestra suona l'« Andante » in modo che in questa circostanza le necessità di carattere economico non si conciliano con le necessità di carattere musicale, le quali si oppongono alla interruzione nel corso dell'« Andante ». Se si rispettano le esigenze di carattere musicale, la lunghezza di nastro necessaria è determinata dalla durata dei primi due tempi (circa 18 minuti); al termine della sinfonia resteranno quindi inutilizzati circa 50 metri della seconda pista (corrispondenti a 4 minuti di riproduzione). E' cosa noiosa soprattutto quando tale periodo di silenzio capita nella prima pista, oppure quando l'interruzione fra la prima parte e la seconda della registrazione diviene troppo lunga, oppure quando do-

Fig. 111. Registratore professionale in uno studio di registrazione.

po la messa in moto occorre attendere diversi minuti prima che cominci la musica; a meno di colmare il **bianco** con una ouverture.

Il problema del prezzo non è semplice da trattare e non si può farlo con esattezza perchè i prezzi dei dischi e dei nastri già registrati sono soggetti a variazioni. In generale si può dire che il prezzo di costo di un disco di lunga durata di musica classica si compone di tre parti: spese di registrazione (musicisti, tecnici, noleggio dello studio, ecc.); spese di tiratura (matrici, materie prime, spese di stampaggio); spese di vendita (ufficio commerciale e artistico, pubblicità, imballaggi e spedizioni, personale di vendita). Grosso modo le tre voci hanno all'incirca lo stesso peso.

Le spese di registrazione e le spese di vendita sono uguali per i nastri e per i dischi, le eventuali differenze di prezzo non possono provenire che dalle spese di tiratura. Un disco, come abbiamo visto al Capitolo III, viene stampato con una sola operazione una volta preparate le matrici e messe a punto le presse, in modo che tre quarti d'ora di musica vengono tirati nello spazio di un minuto; tale ritmo non si può evidentemente mantenere per i nastri magnetici.

Per questi il metodo più semplice consiste nel far passare un nastro in un registratore e nell'applicare il segnale elettrico prodotto nella testina di lettura, dopo amplificazione, a una testina di registrazione che fissa la musica su un secondo nastro; in questo modo la tiratura di tre quarti d'ora di musica richiede anch'essa tre quarti d'ora, il che è evidentemente troppo lungo. Per ridurre la durata della copiatura, e con essa delle spese, si procede come segue: anzitutto non si fa scorrere il nastro a velocità normale ma a velocità cinque volte maggiore e quando si tratta di registrazioni su doppia pista, le due piste vengono copiate simultaneamente; inoltre la tiratura delle copie viene effettuata dalla fine all'inizio, in modo che al termine dell'operazione l'inizio della registrazione si trova sull'esterno della bobina e non è più necessario riavvolgere il nastro (tranne che per la registrazione originale); infine, non si tira una copia alla volta, ma più copie insieme. Benchè tutti questi accorgimenti riducano notevolmente le spese di manodopera e di attrezzatura relative alla copiatura di nastri magnetici, tutto sommato le spese non sono meno elevate di quelle necessarie per lo stampaggio dei di-

schi. Poichè non sono necessarie matrici per la moltiplicazione dei nastri, il prezzo ne viene favorevolmente influenzato.

I materiali che servono alla fabbricazione dei dischi non sono a buon mercato, ma quelli che entrano nel nastro per magnetofono lo sono ancor meno. Il prezzo di una bobina di m 180 di nastro vergine (64 minuti di riproduzione su doppia pista con una velocità di scorrimento di 9,5 cm/sec e 32 minuti con una velocità di 19 cm/sec) è sempre superiore a un terzo del prezzo di un disco microsolco da 30 cm. Possiamo quindi agevolmente concludere che a causa del prezzo del nastro vergine, anche se la copiatura della registrazione non costasse nulla, un nastro di musica è più caro di un disco della stessa classe. Questo paragone dei prezzi resta valido anche per il nastro sottile di lunga durata.

Riassumendo quanto abbiamo detto, vediamo che il nastro può presentare qualche vantaggio dal punto di vista qualitativo e che è meno vulnerabile del disco, ma la manovra di un grammofono è più semplice. Alla velocità di 9,5 cm/sec la registrazione su nastro è alquanto più cara di un disco microsolco da 30 cm e alla velocità di 19 cm/sec la differenza di prezzo rispetto a un disco microsolco da 25 cm di pari durata diviene notevole. Non ci sembra dunque probabile che i dischi possano essere soppiantati dai nastri musicali ma prevediamo piuttosto che il nastro completerà il disco.

Le spese relative alla fabbricazione e conservazione delle matrici, compresi padri e madri, e le spese di messa a punto delle presse sono così elevate che solo la tiratura di dischi in serie di molti pezzi è rimunerativa. Le opere musicali che non suscitano interesse in un pubblico sufficientemente vasto non vengono quindi pubblicate su dischi, anche se per farne la registrazione si può utilizzare un'esecuzione in sala da concerto o in studio di radiodiffusione. Le operazioni necessarie per fare delle copie di registrazioni su nastro sono per contro relativamente semplici e per tale motivo il nastro ci sembra il supporto ideale per opere richieste da un pubblico poco numeroso. Un'opera come la Leggenda dei Nibelunghi di Wagner non è sempre disponibile su dischi e in questo caso il nastro potrebbe costituire una soluzione. Composizioni moderne di autori giovani sono suonate raramente, ma è ancor più raro che si trovino su dischi. Anche la **musica concreta** figura eccezionalmente sui cataloghi di dischi.

In questi campi noi vediamo un ruolo importante per il nastro musicale.

CAPITOLO XII

LA TECNICA AL SERVIZIO DELLA MUSICA

§ 1. La tecnica al servizio della musica

La tecnica e la musica s'incontrano praticamente solo all'inizio e alla fine del lungo tragitto che separa il microfono dall'orecchio. Nella registrazione e nella riproduzione dei suoni la tecnica deve essere al servizio della musica e spetta all'ascoltatore in ultima analisi giudicare se è stata all'altezza del compito e se è stata impiegata in modo corretto e giudizioso.

I rapporti fra la musica e la tecnica sono assai stretti nello studio di registrazione, dove da una parte un complesso di musicisti si assume l'incarico di interpretare un'opera musicale il più magistralmente possibile e dall'altra un gruppo di persone non musicisti si assume quello di fare della esecuzione musicale una registrazione più perfetta possibile sotto ogni punto di vista.

Di proposito abbiamo evitato la parola **tecnici** per qualificare questo secondo gruppo di persone, perchè la regìa di registrazione è investita non solo della responsabilità tecnica ma anche di parte della responsabilità artistica. Il regista, detto anche direttore di studio, è per così dire l'intermediario fra la tecnica e la musica; egli deve dunque essere sufficientemente preparato in entrambi i campi e il suo lavoro comincia molto tempo prima dell'inizio della ripresa sonora.

Quando la direzione artistica decide di far eseguire una certa opera da certi musicisti, il regista comincia a studiarla, ne legge la partitura, probabilmente la suonerà al piano e all'occorrenza cercherà di conoscerne la storia; potrà così farsi un'idea delle condizioni cui deve soddisfare la sala dove effettuare la registrazione. E' evidente che si eviterà di registrare un quartetto d'archi in una chiesa e altrettanto dicasi per una Messa in una saletta cinematografica; in realtà la relazione fra l'opera musicale e il locale dove effettuare la registrazione impone delle condizioni molto più severe e una sala ideale per l'opera lirica si presterà forse meno bene per una sinfonia di Haydn. Spesso quindi per ottenere i migliori risultati, la ripresa sonora non viene effettuata in uno studio specialmente costruito per questo scopo, ma in una sala avente le proprietà acustiche più favorevoli per l'opera da registrare, talvolta anche una sala della stessa epoca della composizione musicale.

Scelta la sala si studia sulla carta la posizione del microfono o dei microfoni. Nella sala il posto dal quale si può meglio ascoltare un'esecuzione musicale non è sempre la posizione migliore per il microfono. Il nostro orecchio può distinguere la direzione di provenienza di un suono; grazie a questa proprietà noi possiamo seguire facilmente un violino in mezzo ad altri strumenti, anche se l'accompagnamento orchestrale sovrasta il suono del violino in parola. Il microfono che non ha questa selettività non farà distinzione fra solista e orchestra e se viene posto in

Fig. 112. Ricerca della posizione migliore per il microfono, nel corso delle ***prove per*** *una registrazione orchestrale effettuata al Concertgebouw di Amsterdam sotto la direzione del Maestro Eduard van Beinum.*

un luogo più o meno qualunque è assai probabile che nella registrazione effettuata il suono del violino risulterà completamente coperto dalla orchestra.

Per tale motivo si usa spesso più di un microfono; ciò si fa non solo nella registrazione di un'orchestra con solista, ma anche quando l'equilibrio voluto fra le diverse sezioni di un'orchestra non può essere ottenuto con un solo microfono. Talvolta si ricorre anche a un microfono supplementare che si pone a una certa distanza dall'orchestra e che ha lo scopo di mettere in valore la risonanza della sala, il che rende più **vive** certe registrazioni. La natura della composizione musicale ha anch'essa la sua importanza; mentre in un concerto per pianoforte di Mozart il solista e l'orchestra sono due cose distinte, in un concerto di Brahms il pianoforte e l'orchestra formano un tutto unico; risulta quindi evidente la necessità di disporre i microfoni in modi diversi per dare la giusta espressione a concezioni musicali diverse.

Quanto sopra detto non significa che tutte le registrazioni orchestrali debbano essere effettuate con più microfoni, nè che per registrazioni di piccoli complessi si debba usare sempre un solo microfono; non esistono regole fisse per determinare la disposizione e il numero dei microfoni e il regista deve in gran parte affidarsi al suo intuito, alla sua esperienza e a una perfetta conoscenza delle esigenze tecniche e musicali. Spesso, durante le prove, egli circola per la sala tenendosi un orecchio chiuso con un dito, per avvicinarsi alle condizioni in cui funziona il microfono e migliorare eventualmente secondo le sue constatazioni la disposizione dei microfoni come era stata stabilita precedentemente. Può anche darsi che prenda la decisione di usare un solo microfono per un'orchestra sinfonica (eventualmente con qualche schermo acustico) o di cambiare la disposizione dell'orchestra. Può anche darsi che giudichi necessari due microfoni per un piccolo complesso. Quando, ad esempio,

un cantante con una voce molto forte è accompagnato da una chitarra, questa rischia di non risaltare a sufficienza; ponendo il microfono vicino alla chitarra e piuttosto lontano dal cantante, si ottiene un equilibrio migliore ma l'ascoltatore constaterà in riproduzione che il cantante sembra più lontano del chitarrista, il che dà un effetto non piacevole; questo fenomeno dipende dal fatto che siccome il microfono è più distante dal cantante che dal chitarrista, la risonanza della voce cantata è più forte di quella della chitarra; per evitare ciò si usano due microfoni.

L'ascolto con un solo orecchio per determinare il posto più adatto per il microfono è una cosa che raccomandiamo anche al dilettante.

§ 2. Montaggio dei nastri ed effetti sonori

Le cure dedicate a una ripresa grammofonica sono più minuziose di quelle dedicate a una trasmissione radio. Se un piccolo difetto di esecuzione può sfuggire una prima volta alla nostra attenzione, è assai probabile che lo notiamo dopo qualche audizione e nulla è più irritante che ascoltare un disco sapendo che uno degli esecutori a un certo momento commette un errore. Così si prova a lungo prima di registrare, passando al vaglio pezzo per pezzo, fino a convincersi che l'interpretazione è perfettamente conforme allo spirito dell'opera musicale (almeno secondo il parere dei responsabili) e che questa interpretazione può essere registrata correttamente.

Quando si tratta di opere lunghe l'esperienza ha mostrato che non è possibile suonarle senza errori dal principio alla fine; vengono quindi registrate in parti che si uniscono poi l'una all'altra (il che col nastro magnetico non presenta alcuna difficoltà), oppure una volta registrata tutta l'opera o una parte completa, si ripetono i passaggi contenenti errori e si sostituiscono i passaggi imperfetti con quelli ben riusciti. In generale è il regista che giudica quando l'orchestra è ben padrona dell'opera per passare alla registrazione e soprattutto che decide dei pezzi da ripetere; inoltre è lui che indica il punto dal quale si deve ricominciare il frammento da ripetere, frammento che non deve essere nè troppo lungo, per evitare il pericolo di nuovi errori, nè troppo corto, per dare ai musicisti la possibilità di riprendere il ritmo giusto. Il regista è anche responsabile del montaggio dei diversi frammenti sul nastro e dovrà dunque essere capace di leggere una partitura con facilità per evitare che una certa nota venga omessa o compaia due volte sul disco.

Da quanto abbiamo detto sopra si può supporre che la posizione del direttore d'orchestra sia in sottordine rispetto a quella del regista. Non è così perchè le loro responsabilità sono nettamente separate e le loro mansioni si esplicano in campi diversi. Il direttore d'orchestra è responsabile dell'interpretazione e della migliore esecuzione possibile della composizione e il regista deve fare in modo che la musica che uscirà dall'altoparlante sia più bella possibile. Il regista si trova spiritualmente e materialmente al posto del futuro ascoltatore del disco e sente la musica in modo diverso da come la sente il direttore d'orchestra. Siccome è più lontano dall'orchestra, se la sua competenza musicale è sufficien-

te, certi errori può notarli più facilmente del direttore d'orchestra che è più vicino e che può, ad esempio, non cogliere sempre con la stessa facilità un'entrata difettosa. A ripresa terminata, direttore e regista giudicano insieme se la registrazione soddisfa le condizioni volute.

Naturalmente non è giusto attribuire solo ai musicisti la responsabilità degli errori, perchè anche una manovra errata del tecnico di registrazione, il passaggio di un aereo a bassa quota o di un camion, lo sbattere di una porta, ecc. possono sciupare una registrazione (l'autore ricorda fra l'altro una ripresa sonora guastata dall'ingresso di un inserviente che portava un grosso cartello con la scritta « Silenzio - Si registra »). Se la registrazione fosse fatta direttamente su disco, in simili casi occorrerebbe rifare tutto da capo, ma su nastro si taglia il pezzo incriminato e lo si sostituisce con un pezzo registrato a parte; talvolta questa chirurgia estetica si limita a una sola nota o a una sola battuta.

Malgrado tutta l'esperienza del personale impegnato e nonostante che esista la possibilità di correggere gli errori, una ripresa sonora richiede molto tempo. Non è eccezionale che una giornata intera sia dedicata alla registrazione di una sinfonia o un'ora e mezza a un ballabile; è solo quando il regista o gli esecutori non guardano troppo per il sottile che è possibile fare le cose più in fretta e che le registrazioni diminuiscono di prezzo, ma anche di qualità.

Nell'epoca attuale di alta fedeltà, alcuni cercano di fare risaltare in modo speciale i triangoli, i piatti, gli ottavini, ecc. col pericolo che i microfoni vengano disposti in modo che il triangolo risalti troppo, con una potenza paragonabile a quella di tutta l'orchestra; musicalmente questo non è giustificabile ed è forse bene far notare ancora una volta che se si cerca la **fedeltà** è anzitutto e soprattutto in materia di musica. Il regista non deve incoraggiare la ricerca di effetti; d'altra parte l'ascol-

Fig. 113. Per questa registrazione di musica leggera sono stati impiegati cinque microfoni. Dietro il vetro è visibile il regista.

tatore non deve condannare un disco col pretesto che i piatti si sentono poco, se l'intento del compositore era appunto questo. Anche i **fortissimo** esagerati per spingere la vendita del disco non hanno nulla a che fare con la vera alta fedeltà.

Il giusto livello di registrazione, specialmente per la musica sinfonica, è talvolta assai difficile da trovare; quando la musica comprende dei contrasti fra i **pianissimo** e i **fortissimo** maggiori di quanto non sia possibile fissare sul disco, la posizione del regolatore di volume dovrà essere determinata secondo la partitura, il che significa che anche il tecnico di registrazione deve saper leggere la musica.

Mentre nella registrazione della musica classica la tecnica svolge un ruolo senza dubbio assai importante, però del tutto passivo, in materia di musica leggera può essere altrimenti. Se per le registrazioni classiche si usa talvolta una camera riverberante, per la musica leggera si dispone di un arsenale completo di effetti sonori. La camera riverberante è un grande ambiente nel quale sono posti un altoparlante a un'estremità e un microfono all'altra; l'altoparlante è collegato attraverso un amplificatore al microfono dello studio e il microfono è collegato all'apparecchio di registrazione. Il suono captato da questo microfono è in parte il suono emesso direttamente dall'altoparlante e in parte il suono riflesso dalle pareti del locale. Fra il microfono e l'altoparlante si può anche disporre uno schermo e in tale caso la riverberazione è spesso più intensa del suono diretto. Il segnale del microfono della camera riverberante viene applicato al registratore insieme al segnale fornito dal microfono dello studio. Si può far variare a piacere l'intensità, la sonorità e la durata della riverberazione, cambiando la posizione dell'altoparlante e del microfono e facendo variare il segnale fornito da quest'ultimo. Un esempio dell'impiego di una camera riverberante si trova fra l'altro nell'opera « Salomé » di R. Strauss, in cui, grazie a questa applicazione, la voce di Jokanaan sembra uscire da un sepolcro.

Si possono ottenere effetti speciali mettendo il cantante e l'orchestra in studi separati e aggiungendo un'eco al canto; si dà così l'impressione che il cantante si trovi a qualche distanza dall'orchestra. Ponendo il cantante vicino al microfono e facendolo cantare a mezza voce si ottiene un'impressione di particolare intimità; anche in questo caso si può ricorrere all'impiego di una camera riverberante. Quando non si dispone di una camera riverberante si può impiegare un'eco elettronica: il segnale microfonico dello studio viene registrato su un nastro magnetico, riprodotto quasi immediatamente, registrato di nuovo sullo stesso nastro, ecc. Mentre la camera riverberante dà un'eco più o meno indistinta, l'eco elettronica è una successione di echi relativamente ben netti. Per la musica leggera questo suono meno morbido è talvolta più adatto dell'eco più naturale ottenuta mediante la camera riverberante e può dare, con un solo strumento musicale, l'effetto di più strumenti. Un'altra possibilità è di registrare il suono di uno strumento musicale, con o senza eco, e riportarlo insieme a un'altra registrazione su un unico nastro. E' il procedimento seguito dal cantante che fa un duetto da solo e da certi strumentisti.

Quando una registrazione viene riprodotta a velocità diversa da quella di incisione, cambia in proporzione l'altezza dei suoni; modificando inoltre la caratteristica di riproduzione, cioè accentuando o deaccentuando i bassi o gli alti, si possono ottenere effetti assai caratteristici. Una registrazione di fisarmonica, ad esempio, suonata a velocità metà e con rinforzo dei bassi assomiglia alquanto a un organo, ma con effetti e possibilità diversi da un organo vero. Una voce maschile riprodotta a velocità più elevata ed eventualmente con attenuazione dei bassi, produce un effetto tipo **Donald Duck.** Se si riproducono delle registrazioni in senso contrario si ottengono effetti assai curiosi. Combinando alcune di queste manipolazioni con altre cui non abbiamo accennato, si possono ottenere i risultati più strani e più straordinari. Quanto a sapere fino a che punto tutto questo sia musicalmente giustificato, è un'altra questione; queste registrazioni artefatte possono però essere di qualche attrazione nel campo della musica ricreativa.

APPENDICE

Nelle pagine seguenti sono riportate due tabelle molto importanti nella tecnica della riproduzione dei suoni. La prima riguarda i rapporti di intensità sonora (scala in decibel, fig. 114), la seconda indica le bande di frequenze di un certo numero di strumenti musicali (fig. 115; i numeri a fianco della figura danno le frequenze in Hz delle fondamentali dei suoni musicali corrispondenti).

Infine, nelle ultime tre figure sono riportate le caratteristiche di riproduzione di alcuni pick-up Philips, rilevate con differenti resistenze di carico.

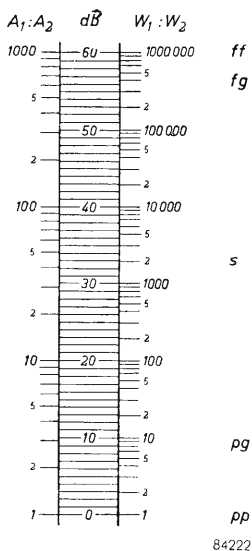



Fig. 114. Scala in decibel.

A_1 : A_2 rapporti di tensione, corrente o pressione sonora
W_1 : W_2 rapporti di potenza o intensità sonora
dB decibel corrispondenti.

Le lettere a destra della scala indicano i rapporti d'intensità sonora: di una orchestra in una sala da concerto: pp = pianissimo; ff = fortissimo; di una riproduzione grammofonica: pg ed fg = pianissimo e fortissimo; s è all'incirca il livello di una conversazione normale.

Fig. 115. Frequenza ed altezza dei suoni.

Bande di frequenze dei diversi strumenti musicali e delle diverse voci. Le note fondamentali sono indicate con tratto continuo; per certi strumenti sono indicate anche le armoniche (tratti e punti).

1. Contrabbasso
   Violoncello
   Viola
   Violino
2. Controfagotto
   Fagotto
   Clarinetto
   Oboe
   Flauto
   Ottavino
3. Triangolo
   Piatti
   Piatto da batteria
4. Basso
   Baritono
   Tenore
   Contralto
   Mezzo soprano
   Soprano
5. Tuba
   Trombone
   Corno
   Tromba
6. Timpano grande
   Timpano piccolo
7. Arpa
   Piano a coda
   Organo

Fig. 115.

Fig. 116. Caratteristiche di riproduzione del pick-up a cristallo tipo AG 3010 rilevate col disco H.M.V. DB 4037 (78 giri/minuto).

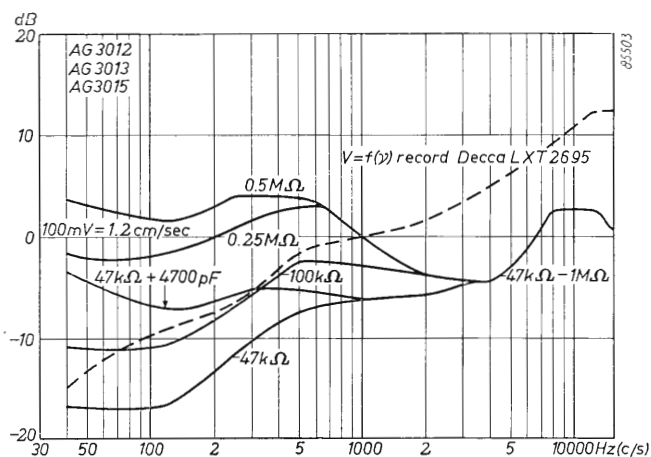



Fig. 117. Caratteristiche di riproduzione dei pick-up a cristallo tipi AG 3012, AG 3013 ed AG 3015 rilevate col disco Decca LXT 2695 (33⅓ giri/minuto).

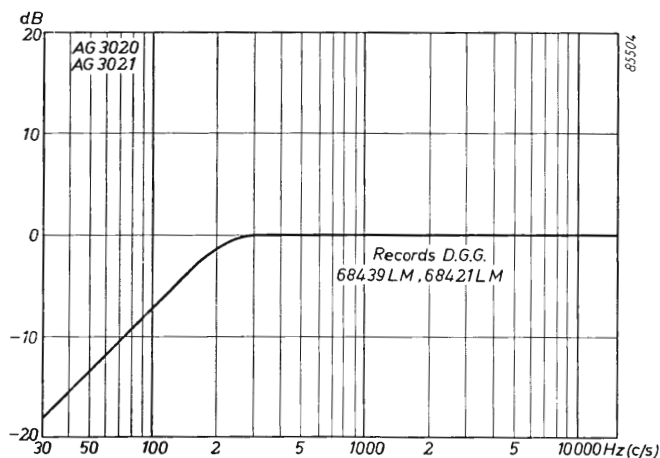



Fig. 118. Caratteristica di riproduzione del pick-up magnetodinamico tipo AG 3020/AG 3021 rilevata coi dischi D.G.G. 68439 LM e 68421 LM (78 giri/minuto, fine groove, resistenza di carico 470000 ohm).

INDICE